Ministerio de Transportes y Comunicaciones | Viceministerio de Transportes | Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

PERÚ





MANUAL DE CARRETERAS

SUELOS GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS

R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14







Resolución Directoral

N° 10-2014-MTC/14
Lima, 09 de abril del 2014.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Supremo N° 034-2008-MTC se aprobó el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, el cual tiene, entre otros objetivos, definir las pautas para las normas técnicas de diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, caminos y vías urbanas;

Que, dicho reglamento ha previsto en su artículo 20° la relación de manuales de gestión de carreteras, que deben ser aprobados. Asimismo, ha precisado en su artículo 18° que los manuales son documentos de carácter normativo y de cumplimiento obligatorio, que sirven como instrumentos técnicos a las diferentes fases de gestión de la infraestructura vial;

Que, uno de los manuales de gestión de carreteras, es el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, el cual, según el artículo 22° del mismo reglamento, contiene las normas, guías y procedimientos de los estudios de suelos, geología, geotecnia y diseño de pavimentos. Dicho manual, asimismo, está conformado por dos (02) secciones: i) Suelos y Pavimentos, y ii) Geología y Geotecnia;

Que, el artículo 19° del Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, establece que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en su calidad de órgano rector a nivel nacional, en materia de transporte y tránsito terrestre, elabora, actualiza y aprueba los manuales para la gestión de la infraestructura vial. Asimismo; en el Numeral 4.1, de su artículo 4°, se precisa que este Ministerio, a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial, fiscalizar su cumplimiento, e interpretar las normas técnicas contenidas en dicho reglamento;



Que, de otro lado, según el artículo 60° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aprobado por Decreto Supremo N° 021-2007-MTC, la Dirección Normatividad Vial de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, es la unidad orgánica que tiene como una sus funciones, la de formular y actualizar normas de carácter técnico y/o administrativas relacionadas con la gestión de infraestructura vial (estudios, construcción, rehabilitación, mejoramiento, mantenimiento y uso de caminos);

Que, en virtud a ello y en ejercicio de sus competencias, la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, mediante la Resolución Directoral N° 05-2013-MTC/14 de fecha 18 de febrero del 2013, aprobó la Sección: Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Dicha resolución fue publicada en el Diario Oficial "El Peruano" en fecha 06 de marzo del 2013;

N° 10-2014-MTC/14
Lima, 09 de abril del 2014.

Que, de acuerdo a lo previsto en el artículo tercero de la Resolución Directoral N° 05-2013-MTC/14, la Sección Suelos y Pavimentos del citado manual entró en vigencia al día siguiente de su publicación en el diario oficial; es decir, el día 07 de marzo del 2013;

Que, con posterioridad a la aprobación de la Sección: Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras- Suelos, Geologia, Geotecnia y Pavimentos, la Dirección de Normatividad Vial de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles ha advertido la existencia de algunos errores materiales, los cuales requieren ser corregidos a fin de evitar confusión o errores de interpretación. En ese sentido, ha realizado una revisión total de la citada sección y, como consecuencia de ello, ha elaborado una versión actualizada de la misma, al mes de abril del 2014;

Que, en atención a ello, la Dirección de Normatividad Vial, ha emitido el Informe N° 014-2014-MTC/14.04, de fecha 09 de abril del 2014, mediante el cual ha planteado a la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, la aprobación de una nueva versión (a abril del 2014) de la Sección: Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras- Suelos, Geologia, Geotecnia y Pavimentos. Asimismo, en dicho informe ha considerado que, de conformidad con lo previsto en el Numeral 3.2 del artículo 14° del "Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General" aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, resulta innecesaria la prepublicación de dicha versión ya que las modificaciones que prevé solo se contraen a correcciones de errores materiales y aspectos formales;



Que, en virtud de lo expuesto, resulta pertinente dictar el acto administrativo de aprobación correspondiente;



De conformidad con la Ley N° 29370-Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Decreto Supremo N° 021-2007-MTC, y en uso de las facultades conferidas por Resolución Ministerial N° 506-2008-MTC/02;

SE RESUELVE:



ARTÍCULO PRIMERO.- Aprobar la versión a abril del 2014 de la Sección: Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras-Suelos, Geologia, Geotecnia y Pavimentos, el cual obra en Anexo que consta de trescientos un (301) páginas.

De conformidad con el artículo 18° del Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, la sección aprobada constituye un documento de carácter normativo y de cumplimiento obligatorio.

El original de la sección aprobada forma parte integrante de la presente Resolución Directoral.

N° 10-2014-MTC/14
Lima, 09 de abril del 2014.

ARTÍCULO SEGUNDO.- Dejar sin efecto la Resolución Directoral N° 05-2013-MTC/14.

ARTÍCULO TERCERO.- Disponer la publicación de la presente Resolución Directoral en el Diario Oficial "El Peruano". Asimismo, disponer la publicación de esta resolución y de su Anexo, en la página web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (http://www.mintc.gob.pe).

ARTÍCULO CUARTO.- La norma aprobada por el artículo primero de la presente resolución, entrará en vigencia a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial "El Peruano".

ARTÍCULO QUINTO.- Disponer la remisión a la Dirección General de Desarrollo y Ordenamiento Jurídico del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, en un plazo no mayor de tres (3) días hábiles de la publicación de la resolución directoral en el Diario Oficial "El Peruano", copia autenticada y el archivo electrónico del Anexo respectivo.

Regístrese, comuníquese y publíquese,



WALTER N. ZECENARRO MATEUS
DIRECTOR GENERAL
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles



INDICE

PRESENTACIÓN 5

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN 7

1.1 PROPÓSITO 7
1.2 ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS 7
1.3 OBJETIVOS DEL MANUAL 10
1.4 ALCANCE DEL MANUAL 11
1.5 ORGANIZACIÓN DEL MANUAL 13

CAPÍTULO II ÁMBITO DE APLICACIÓN 16

CAPÍTULO III COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA DEL CAMINO 19

3.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO 19
3.2 EXPLANACIÓN 20
3.2.1 Terraplén 20
3.2.2 Corte 20
3.3 SUB RASANTE DEL CAMINO 20
3.4 AFIRMADO 21
3.5 PAVIMENTO 21
3.6 DRENAJE 22

CAPÍTULO IV SUELOS 25

4.1 EXPLORACIÓN DE SUELOS Y ROCAS 25
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA SUB RASANTE 26
4.2.1 Registros de excavación 27
4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS 29
4.4 ENSAYOS DE LABORATORIO 38
4.5 INFORME DE EXPLORACIÓN 39
4.5.1 Perfil estratigráfico 39
4.5.2 Sectorización 39
4.5.3 Cortes y terraplenes 39
4.5.4 Sub rasante 40

CAPÍTULO V FUENTES DE MATERIALES Y FUENTES DE AGUA 43

5.1 GENERALIDADES 43
5.2 LINEAMIENTOS GENERALES PARA UN PROGRAMA DE EXPLORACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE MATERIALES PÉTREOS 43
5.3 ESTUDIO DE CANTERAS DE SUELO 45
5.3.1 Ubicación 45
5.3.2 Descripción 45
5.3.3 Muestreo 46

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD DGCyF - MTC
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

5.3.4 Ensayos de Laboratorio ... 47
5.3.5 Rendimiento y cubicación ... 51
5.4 ESTUDIO DE CANTERA DE ROCA ... 51
5.4.1 Ubicación ... 51
5.4.2 Descripción ... 51
5.4.3 Muestreo ... 51
5.4.4 Ensayos de Laboratorio ... 52
5.4.5 Rendimiento de Cubicación ... 52
5.5 FUENTES DE AGUA ... 52
5.5.1 Ubicación ... 52
5.5.2 Muestreo ... 52
5.5.3 Ensayos de Laboratorio ... 57
5.6 INSTALACIONES COMERCIALES DE SUMINISTRO ... 58
5.7 INFORME, DIAGRAMA DE CANTERA, FUENTES DE AGUA E INSTALACIONES DE SUMINISTRO ... 58

CAPÍTULO VI TRÁFICO VIAL ... 62

6.1 CONOCIMENTO DE LA DEMANDA PARA ESTUDIOS ... 62
6.2 FACTOR DIRECCIONAL Y FACTOR CARRIL ... 63
6.3 CÁLCULO DE TASAS DE CRECIMIENTO Y PROYECCIÓN ... 64
6.4 NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES ... 66
6.5 CLASIFICACION DE NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO ... 74
6.5.1 Caminos No Pavimentados ... 74
6.5.2 Caminos Pavimentados ... 75

CAPÍTULO VII EL CLIMA ... 77

7.1 CONCEPTOS DE APLICACIÓN (FUENTE AASHTO) ... 77
7.2 TEMPERATURA ... 77
7.3 LAS PRECIPITACIONES DE LLUVIAS ... 78
7.4 CONOCIMIENTO DEL CLIMA ... 78

CAPÍTULO VIII DRENAJE ... 84

8.1 FUNCIONES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE DRENAJE EN LAS CARRETERAS ... 84
8.2 DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES ... 84
8.3 DRENAJE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ... 88

CAPÍTULO IX ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ... 92

9.1 CRITERIOS GEOTÉCNICOS PARA ESTABLECER LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ... 92
9.2 ESTABILIZACIÓN MECÁNICA DE SUELOS ... 98
9.3 ESTABILIZACIÓN POR COMBINACIÓN DE SUELOS ... 98
9.4 ESTABILIZACIÓN POR SUSTITUCIÓN DE LOS SUELOS ... 98
9.4.1 Procedimiento para determinar el espesor de reemplazo en función al valor soporte o resistencia del suelo ... 99
9.5 SUELOS ESTABILIZADOS CON CAL ... 101

9.6 SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO 102
9.7 SUELOS ESTABILIZADOS CON ESCORIA 103
9.8 ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE SODIO 104
9.9 ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE CALCIO 106
9.10 ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE MAGNESIO 106
9.11 ESTABILIZACIÓN CON PRODUCTOS ASFÁLTICOS 107
9.12 ESTABILIZACIÓN CON GEOSINTÉTICOS 109

CAPÍTULO X MATERIALES PARA PAVIMENTO 113

10.1 DE LOS GEOSINTÉTICOS 113
10.2 DEL AFIRMADO 113
10.3 DE LA SUBBASE GRANULAR 113
10.4 DE LA BASE GRANULAR 114
10.5 DE LAS BASES TRATADAS CON ASFALTO, CON CAL Y CON CEMENTO 114
10.6 DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN FRÍO 114
10.7 DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN CALIENTE 114
10.8 DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO 116
10.9 DE LOS PAVIMENTOS DE BLOQUES INTERTRABADOS (ADOQUINES) DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND 116

CAPÍTULO XI AFIRMADOS 118

11.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO 118
11.2 SECCIONES DE CAPAS DE AFIRMADO 119
11.3 MATERIALES DE AFIRMADO 123

CAPÍTULO XII PAVIMENTOS FLEXIBLES 128

12.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO 128
12.2 SECCIONES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE 145
12.4 REFUERZO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE 166
12.4.1 Necesidad de Refuerzo del Pavimento 166
12.4.2 Factores Básicos para Definir el Refuerzo del Pavimento 167
12.4.3 Tráfico para el refuerzo del pavimento 167
12.4.4 Fallas en el Pavimento 167
12.4.5 Serviciabilidad – Regularidad Superficial 169
12.4.6 Evaluación Estructural por Deflectometría 171
12.4.7 Renovación Superficial 175
12.4.7 Refuerzo de pavimentos flexibles 177

CAPÍTULO XIII PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS 183

13.1 PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO CON CARPETA ASFÁLTICA Y BASE TRATADA 183
13.1.1 Parámetros de diseño 183
13.1.2 Secciones de la Estructura del Pavimento Semirrígido 184
13.2 BERMAS DEL PAVIMENTO SEMIRRIGIDO 208
13.3 REFUERZO DEL PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO 208

13.4 PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON ADOQUINES DE CONCRETO 209
13.4.1 Método de Diseño 209
13.4.2 Aspectos Constructivos 221

CAPÍTULO VXI PAVIMENTOS RÍGIDOS 224

14.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO 224
14.1.1 Metodología de diseño AASHTO 93 224
14.2 SECCIONES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RÍGIDO 233
14.3 JUNTAS LONGITUDINALES Y JUNTAS TRANSVERSALES 244
14.3.1 Juntas longitudinales 245
14.3.2 Juntas transversales 246
14.3.3 Mecanismos de transferencia de carga 247
14.3.4 Barras de amarre 248
14.3.5 Sellado de las juntas 249
14.4 BERMAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO 251
14.4.1 Bermas de concreto 252
14.4.2 Bermas de asfalto 252
14.4.3 Bermas granulares 252
14.5 MATERIALES DEL PAVIMENTO RÍGIDO 252
14.6 REFUERZO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS 253
14.7 DETALLES TÍPICOS 254

CAPÍTULO XV ENSANCHE DE PAVIMENTOS 266

CAPÍTULO XVI COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS 268

16.1 PROCEDIMIENTO GENERAL 268
16.2 NIVELES DE SERVICIO 270
16.2.1 Caminos No Pavimentados: Afirmados 270
16.2.2 Caminos pavimentados: pavimentos flexibles, semirrígidos 271
16.2.3 Caminos Pavimentados: Pavimentos Rígidos 274
16.3 Ejemplos de verificación de estructuras de pavimento por niveles de servicio 274

CAPÍTULO XVII ABREVIATURAS Y GLOSARIO DE TÉRMINOS 298

17.1 ABREVIATURAS 298
17.2 GLOSARIO DE TERMINOS 300

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL · DGCyF · MTC ·

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES · V°B° · DGCF ·

PRESENTACIÓN

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su calidad de órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial y fiscalizar su cumplimiento.

La Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, es el órgano de línea de ámbito nacional encargada de normar sobre la gestión de la infraestructura de caminos, puentes y ferrocarriles; así como de fiscalizar su cumplimiento.

El Manual de **"Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"** en su Sección **Suelos y Pavimentos**, forma parte de los **Manuales de Carreteras** establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC, y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

La presente versión del Manual de **"Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"** en su Sección **Suelos y Pavimentos**, tiene por finalidad proporcionar criterios homogéneos en materia de suelos y pavimentos, que faciliten el diseño de las capas superiores y de la superficie de rodadura en carreteras pavimentadas y no pavimentadas, dotándolas de estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño en términos de eficiencia técnico – económica; siendo por tanto, una herramienta para el diseño estructural de los pavimentos, tomando en consideración la experiencia, estudio de las características y comportamiento de los materiales, y de acuerdo a las condiciones especificas de los diversos factores que inciden en el desempeño de los pavimentos, como son el tráfico, el clima y los sistemas de gestión vial.

El presente Manual debe aplicarse sin modificación y en concordancia con las características particulares de cada proyecto; asi mismo, si determinadas condiciones de un estudio demanda la necesidad de aplicación de nuevas tecnologías o procedimientos no contemplados en este documento, podrá ser propuesto por el proyectista como un caso especial, previa evaluación técnico – económica, el cual será aprobado por la entidad contratante o administradora y reportado al órgano normativo de la infraestructura del MTC.

El presente Manual, está formado por dos secciones, la primera conformada por la Sección **Suelos y Pavimentos**, que es materia de la presente norma; y la segunda, constituida por la Sección **Geología y Geotécnica** será aprobada como una Sección aparte.

Teniendo en consideración que como toda ciencia y técnica, la ingeniería vial está en permanente evolución, este Manual deberá ser revisado y actualizado periódicamente por el órgano normativo de la infraestructura vial del MTC.





Lima, abril de 2014

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN





INTRODUCCIÓN

1.1 Propósito

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, es un organismo del Poder Ejecutivo que cuenta con personería jurídica de derecho público y constituye un pliego presupuestal, el mismo que conforme a lo señalado en la Ley Nº 29370 – Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, tiene entre sus funciones, formular, planear, dirigir, coordinar, ejecutar, fiscalizar, supervisar y evaluar la política nacional y sectorial, bajo su competencia, aplicable a todos los niveles del gobierno. En tal sentido es propósito de este documento desarrollar la Sección de Suelos y Pavimentos que conforma el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos correspondiente a las Carreteras y Caminos, con el propósito de brindar a los Ingenieros las pautas y criterios técnicos apropiados para diseñar eficientemente las capas superiores y la superficie de rodadura de los caminos o carreteras no pavimentadas y pavimentadas dotándolas de estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño posible en términos de eficiencia técnico – económica en beneficio de la sociedad en su conjunto. Asimismo la sección de Suelos y Pavimentos permite a los consultores emplear nuevas tecnologías debidamente sustentadas y acreditadas ante el MTC.

En la redacción de este documento en adelante la Sección de Suelos y Pavimentos será identificada en lo posible con la denominación genérica de "el manual".

1.2 Antecedentes del estado del conocimiento y experiencia internacional en el diseño de pavimentos

Desde los primeros diseños de estructuras de pavimentos para carreteras los ingenieros han empleado métodos analíticos y mecanísticos para el diseño y la evaluación de los pavimentos. Desde entonces se han producido numerosas contribuciones realizadas por investigadores y académicos en diversos países. Tal es el caso del profesor de la Universidad de Columbia Donald Burmister, quien en 1943 desarrolló una solución para calcular esfuerzos y deformaciones en una estructura de dos capas y luego en 1945 desarrolló la solución para resolver sistemas estructurales de tres capas, que anteriormente se resolvían por las ecuaciones de Valentín Boussinesq. Los ensayos demostraron que para muchas estructuras de pavimento las ecuaciones de Boussinesq producían resultados de esfuerzos y deformaciones mayores que los medidos en el laboratorio.

Los métodos mecanísticos de diseño de estructuras de pavimentos se basan en el supuesto de que un pavimento puede ser modelado como una estructura multicapa elástica o viscoelástica sobre una cimentación elástica o viscoelástica. Con esta premisa es posible calcular las tensiones y deformaciones producidas por las cargas de tráfico y por los efectos del clima. Sin embargo, los investigadores y académicos concuerdan en que el comportamiento de los pavimentos está influenciado por varios factores que no permiten una modelación por métodos mecanísticos puros que produzca

resultados suficientemente exactos y precisos para la predicción de su desempeño a lo largo de su ciclo de vida.

La fabricación masiva de automóviles y camiones que se inicia en Francia, Alemania y los Estados Unidos de Norteamérica a principios del siglo XX, y el crecimiento acelerado de la demanda de transporte en este tipo de vehículos tanto para fines civiles como militares hizo evidente la necesidad de mejorar continuamente la técnica del diseño de carreteras.

Como consecuencia de la Ley de Ayuda Federal para Carreteras de Junio de 1956, en los Estados Unidos de Norteamérica se produjo un gran plan de desarrollo del sistema de carreteras de esa nación, parte de este plan fue un ambicioso programa de investigación científica con ensayos a escala real, orientado a desarrollar una metodología empírica que permita diseñar estructuras de pavimentos que tengan un comportamiento previsible y confiable durante todo su ciclo de vida. El programa fue exitoso: en 1961 la Asociación Americana de Carreteras publicó la Guía Preliminar para el Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles ("AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavements") y en 1972 la Asociación publica una Segunda versión de esta Guía Preliminar. En 1986 con la publicación de una nueva versión la Guía deja de tener el carácter provisional; luego en 1993 después de la realización de investigaciones y ensayos adicionales AASHTO publica la última versión de esta Guía. En los Estados Unidos actualmente la mayor parte de los Estados utilizan oficialmente las guías de Diseño de Pavimentos de AASHTO, publicadas en 1972, 1986 o 1993; con estas metodologías se han diseñado con éxito, las estructuras de pavimentos para varios millones de kilómetros de carreteras en el mundo.

La metodología de diseño implantada en 1972 con la publicación por AASHTO de la Guía de Diseño para Pavimentos Flexibles, es de carácter empírico y no incorpora procedimientos mecanísticos. La Guía de Diseño de 1993 indirectamente usa procedimientos mecanísticos para evaluar el deterioro debido al clima y establecer coeficientes para drenaje y transferencia de cargas. Asimismo, el empleo del Módulo de Resilencia para caracterizar las propiedades de los materiales introduce el concepto de caracterización por un módulo cuasi elástico.

Entre los años 1976 y 1981 con el patrocinio del Gobierno de Brasil, del Banco Mundial y el de las Naciones Unidas, la Oficina de Planificación del Transporte de Brasil (GEIPOT) con un equipo de expertos internacionales de la Fundación de Investigación y Desarrollo de Texas (TRDF) realizó un amplio programa de investigación de las interrelaciones de los costos de construcción, conservación y operación de carreteras que proporcionó una valiosa Base de Datos para el posterior desarrollo por el Banco Mundial de los Modelos de Deterioro de Pavimento y de los otros Modelos del HDM-III (Highway Design and Maintenance Standard Model).

El enfoque adoptado en el estudio para desarrollar los Modelos de Deterioro del HDM-III es un ejemplo de método empírico mejorado con principios mecanísticos. El estudio aprovecha cuantiosa información de campo proveniente de carreteras en servicio, y emplea avanzadas técnicas estadísticas para diseñar modelos estructurados en principios mecanísticos. Este enfoque difiere del propuesto por Rauhut, Lytton y Darter (1984) que se

centra en un modelo mecanístico calibrado empíricamente con datos de campo para evaluar el deterioro producido por las cargas de tráfico en las principales carreteras de los Estados Unidos.

El HDM III como herramienta de diseño predice el desempeño durante todo el ciclo de vida de una estructura de pavimento, sometida a las cargas de tráfico y a los efectos del clima, considerando el efecto de las intervenciones de conservación programadas. El HDM proporciona resultados numéricos cuantitativos de la regularidad de la superficie del pavimento (IRI), del fisuramiento y de los ahuellamientos.

El éxito del HDM-III como herramienta de diseño y gestión de pavimentos es innegable, tiene alcance mundial y se usa regularmente al menos en 98 países muchos de los cuales están en etapa de desarrollo.

Entre los años 1993 y 1996 con el patrocinio del Banco de Desarrollo de Asia, el de la Oficina de Desarrollo en Ultramar del Reino Unido, el de la Oficina Nacional de Administración de Carreteras de Suecia y el del Banco Mundial se desarrolló el Estudio Internacional de Herramientas para el Desarrollo y Gestión de Carreteras. Este estudio tuvo el propósito de producir herramientas mejoradas para el desarrollo de estrategias técnicas y económicas en el sector Caminero. El estudio culminó en 1996 con la versión preliminar del HDM-4 el mismo que incluía la actualización y extensión de las relaciones de los modelos de deterioro y efectos de la conservación de los pavimentos de acuerdo con el estado del conocimiento y la experiencia internacional.

En la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO de 1986 se reconoce abiertamente la conveniencia de avanzar hacia la adopción de procedimientos de diseño mecanísticos, que permitan predecir el desempeño de las estructuras de pavimento para periodos de diseño desde 1 año hasta 50 años o más, teniendo en consideración las variaciones en las cargas, los materiales, los dispositivos de diseño así como los efectos directos del clima.

Una década después, en marzo de 1996 el comité de Pavimentos de AASHTO, en cooperación con NCHRP y FHWA, patrocinó un Taller de Diseño de Pavimentos en Irvine, California. Entre los participantes se incluían a los más destacados Ingenieros de Pavimentos de los Estados Unidos a quienes se les encargó identificar los medios necesarios para disponer de Procedimientos de Diseño de Pavimentos Empírico - mecanísticos y se puso en marcha el Proyecto NCHRP1-37A con la meta clave de desarrollar la Guía de Diseños de Estructuras de Pavimentos Nuevos y Rehabilitados 2002. La Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-Mecanístico (MEPDG) fue terminada en el año 2004 y distribuida al público para su revisión y evaluación. Posteriormente se efectuó una revisión formal y AASHTO en julio del 2008 publicó la versión preliminar de la Guía de Diseño de Pavimentos Empírico - mecanístico.

El método Empírico-Mecanístico desarrollado en la Guía AASHTO 2008 representa un cambio substancial respecto a la metodología presentada en la Guía de 1993 actualmente vigente. El método utiliza los principios teóricos de la mecánica racional para predecir el comportamiento (esfuerzos y deformaciones) de los elementos de la estructura de pavimentos, en respuesta a las acciones internas de las cargas del tráfico y del clima.

Para los pavimentos flexibles el método Empírico – Mecanístico de AASHTO incorpora la contribución del profesor Dr. Jacof Uzan, adoptando el procedimiento de propósito general de análisis elástico por capas denominado JULEA (Jacob Uzan Layered Elastic Analysis). Este procedimiento ya venía siendo exitosamente empleado, desde antes de 1995, de modo particular en el diseño de pavimentos para pistas de aterrizaje, taxeo y parqueo en aeropuertos. El modelo JULEA de respuesta del pavimento es una aproximación basada en el deterioro incremental.

Al igual que los modelos HDM del Banco Mundial, el método Empírico-Mecanístico que presenta la Guía AASHTO 2008 no es un procedimiento directo para el diseño de los espesores de las diversas capas de la estructura del pavimento sino que el método permite evaluar el desempeño de una estructura de pavimento previamente establecida (por ejemplo, una sección de ensayo calculada de acuerdo a la Metodología AASHTO 1993), para predecir los deterioros, las fallas y la regularidad superficial IRI, en concordancia con el nivel de confiabilidad seleccionado.

El aprovechamiento en el Perú de la metodología presentada en la Guía de Diseño Empírico-Mecanístico publicada por AASHTO en Julio 2008, tiene como principal obstáculo la inexistencia de una adecuada zonificación climática, así como la de una base de datos horaria que contengan la información de temperaturas, humedad, precipitación y vientos que caracterizan el clima de cada una de las zonas del Territorio Nacional. El hecho de que en el país no se cuenta aún con suficientes laboratorios debidamente acreditados para efectuar de modo confiable ensayos para la determinación del Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas en Caliente, constituye un segundo obstáculo superable con mayor facilidad que el señalado anteriormente.

Aunque es previsible que en un futuro próximo, el empleo de los métodos de diseño empírico-mecanístico con software de última generación se introduzcan en el país, esta sección del manual no lo incorpora como método rutinario de diseño, pero este Manual constituye un primer paso para su implantación progresiva.

1.3 Objetivos del Manual

La Sección de Suelos y Pavimentos de este manual se ha elaborado para proporcionar a los Ingenieros que trabajan tanto en el sector público como en el privado, criterios homogéneos en materia de suelos y pavimentos que faciliten la aplicación en el diseño de las capas superiores y de la superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas y pavimentadas.

En este sentido el Manual es un instrumento que permanentemente estará sujeto a la posibilidad de incorporar actualizaciones, ajustes, nuevas metodologías y temáticas o el perfeccionamiento de las existentes.

El Manual se actualizará por iniciativa del MTC o a propuesta de terceros. Para este efecto el MTC contará con procedimientos o una Directiva Oficial que establezca la forma regulada en que pueden presentarse propuestas de cambios o aportes por los expertos en la actividad vial; y la forma en que el MTC a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, canalizará



estas propuestas debidamente justificadas para su evaluación hasta que el MTC apruebe un cambio para su inclusión en el Manual.

1.4 Alcance del Manual

Esta Sección del Manual se aplica tanto a Caminos con superficie de rodadura no pavimentada, como con superficie pavimentada.

Los caminos con superficie de rodadura No Pavimentada son identificados como sigue:

a) Caminos de tierra, constituidos por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.

b) Caminos de grava (lastrados), constituidos por una capa de revestimiento con material natural pétreo, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75mm.

c) Caminos afirmados, constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo deseable del material 25 mm.
Los caminos afirmados comprenden los siguientes tipos:

   c.1 Afirmados con gravas naturales o zarandeadas
   c.2 Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado

d) Caminos afirmados con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:

   d.1 Afirmados con grava tratada con materiales como: asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros
   d.2 Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.

Los caminos con superficie de rodadura Pavimentada son identificados como sigue:

a. Pavimentos flexibles:

   a.1 Compuestos por capas granulares (subbase y base drenantes) y una superficie de rodadura bituminosa en frío como: tratamiento superficial bicapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micropavimento en frío, macadam asfáltico, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.
   a.2 Compuestos por capas granulares (subbase y base drenantes) y una capa de rodadura bituminosa de mezcla asfáltica en caliente de espesor variable según sea necesario.

b. Pavimentos semirrígidos: conformados por capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también se considera como pavimento semirrígido, la estructura compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido, se ha incluido también los pavimentos adoquinados.

c. Pavimentos rígidos: conformados por losas de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa.

El Manual presenta metodologías de diseño para afirmados y para pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos. Las metodologías de diseño que se incorporan al Manual tienen como referencia principal a AASHTO Guide for Design of Pavements Structures – 1993. Actualmente esta Guía AASHTO es comúnmente usada en el diseño de Pavimentos en el Perú como lo es también en otros países del mundo. El Manual incorpora además aspectos de la práctica en el Perú y de otros países.

El presente Manual integra lo relacionado a Suelos y Pavimentos de los dos manuales de diseño de carretera de bajo volumen de tránsito aprobados por el MTC (2009) y unifica criterios para ser utilizados en estudios y proyectos de caminos y carreteras del país, tanto para caminos no pavimentados como para caminos pavimentados, de bajo, medio y alto volumen de tránsito.

Para el caso de los caminos afirmados con un tráfico de hasta 300,000 ejes equivalentes en el periodo de horizonte del proyecto, se incorpora la metodología definida en el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito del MTC (2009).

En base a las metodologías de diseño antes mencionadas, se han dimensionado estructuras de afirmados, pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos que ilustrativamente son propuestas en el presente Manual en forma de Catálogo con el propósito de uso discrecional para facilitar las tareas de diseño. El Ingeniero Responsable evaluará para cada caso en particular la aplicabilidad de las secciones del Catálogo.

El Manual introduce el concepto de desempeño a lo largo del periodo de análisis de los afirmados y de los pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, el mismo que se define como el comportamiento funcional y estructural estimado a lo largo del periodo.

Este análisis deberá ser incorporado en los diseños de pavimentos que realice el Ingeniero Responsable. Para el indicado análisis, las actuales herramientas conocidas y utilizadas en el Perú, serán las Guías AASHTO y los modelos HDM del Banco Mundial; que incorporan submodelos de deterioro del pavimento. También los Ingenieros diseñadores podrán utilizar otros modelos que cuenten con aceptación de la Dirección de Normatividad Vial del MTC.

Los estándares que se incluyen en el manual, representan los requisitos mínimos que se deben cumplir para el diseño de afirmados, de pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, de nuevas construcciones, de reconstrucción del pavimento y de refuerzos de pavimentos, de los proyectos de carreteras y caminos en el Perú.

El diseño del pavimento deberá ser una consecuencia del uso sano de criterios y estándares aceptables de la Ingeniería. Los estándares que se incluyen en el manual proporcionarán la base para el diseño.



1.5 Organización del Manual

La Sección de Suelos y Pavimentos de este Manual se presenta en 17 capítulos como se señala a continuación:

1.5.1 **Capítulo 1 - Introducción**, que contiene el Propósito de la Sección, los Antecedentes del Estado de Conocimiento y Experiencia Internacional en el Diseño de Pavimentos; el Objetivo del Manual; el Alcance; y la Organización.

1.5.2 **Capítulo 2 - Ámbito de Aplicación**, en el que se señalan que el Manual es de aplicación a las Carreteras del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), en diseño de nuevas carreteras y de mejoramientos de carreteras, en proyectos de reconstrucción de carreteras, y en proyectos de refuerzo de pavimentos. También se indican los casos donde no es aplicable el Manual.

1.5.3 **Capítulo 3 – Componentes de la Infraestructura del Camino**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Explanada (del Camino); Explanación; Terraplén; Corte; Sub rasante; Afirmado; Pavimento; Drenaje.

1.5.4 **Capítulo 4 - Suelos**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Exploración de suelos y rocas; Caracterización de la Sub rasante; Descripción de los Suelos; Ensayos de Laboratorio; Informe de Exploración.

1.5.5 **Capítulo 5 - Fuentes de Materiales y Fuentes de Agua**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Generalidades; Lineamientos Generales para un Programa de Exploración y Localización de Fuentes de Materiales Pétreos; Estudio de Canteras de Suelo; Estudio de Cantera de Roca; Fuentes de agua; Instalaciones comerciales de suministro; Informe, Diagrama de Cantera, Fuentes de agua e instalaciones de suministro.

1.5.6 **Capítulo 6 - Tráfico Vial**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Demanda de Tránsito; Factor Distribución y Factor Carril; Cálculo de Tasas de Crecimiento y Proyección; Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes.

1.5.7 **Capítulo 7 - El Clima**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Clima; temperatura, precipitaciones y conocimiento del clima.

1.5.8 **Capítulo 8 - Drenaje y Protección de la Plataforma y del Pavimento**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Introducción; Drenaje Superficial relacionados directamente con el Pavimento; Drenaje Subterráneo del Camino y del Pavimento; Casos Especiales; Otros elementos de drenaje y protección de la plataforma del Camino

1.5.9 **Capítulo 9 - Estabilidad de Suelos**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Criterios geotécnicos para establecer el mejoramiento de suelos; Estabilización Mecánica de Suelos; Estabilización por combinación de suelos; Estabilización por Sustitución de los Suelos; Suelos Estabilizados con cal; Suelos Estabilizados con

cemento; Suelos Estabilizados con Escoria; Estabilización con Cloruro de Sodio; Estabilización con Cloruro de Calcio; Estabilización con Cloruro de Magnesio; Estabilización con productos Asfálticos; Estabilización de Geosintéticos.

1.5.10 **Capítulo 10 - Materiales para Pavimento**: En este capítulo se tratan los temas relativos a materiales para: los Geosintéticos, el Afirmado, la subbase granular, la Base Granular, las Bases Tratadas con Asfalto, con Cal y con Cemento, los Pavimentos Asfálticos en Frío, los Pavimentos Asfálticos en Caliente, los Pavimentos de Concreto Hidráulico, y, los Pavimentos de Bloques Intertrabados (adoquines) de Concreto de Cemento Portland.

1.5.11 **Capítulo 11 - Afirmado**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Metodología de Diseño; Secciones de Capas de Afirmado; Materiales de Afirmado.

1.5.12 **Capítulo 12 - Pavimentos Flexibles**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Metodología de Diseño; Secciones de Estructuras de Pavimento Flexible; Bermas del Pavimento Flexible; Refuerzo del Pavimento Flexible.

1.5.13 **Capítulo 13 - Pavimentos Semirrígidos**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Pavimento Semirrígido con Carpeta Asfáltica en caliente y Base Tratada; Bermas del Pavimento Semirrígido; Refuerzo del Pavimento Semirrígido; Pavimento Semirrígido con Adoquines de Concreto.

1.5.14 **Capítulo 14 - Pavimentos Rígidos**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Metodología de Diseño; Secciones de Estructuras de Pavimento Rígido; Juntas Longitudinales y Juntas Transversales; Bermas del Pavimento Rígido; Materiales del Pavimento Rígido; Refuerzo de Pavimentos Rígidos; Detalles Típicos.

1.5.15 **Capítulo 15 - Ensanche de Pavimentos**: Contiene consideraciones a tomar en cuenta en los casos de aplicación de la Sección Transversal o ensanche del camino, tal es el caso del drenaje y que la estructura del pavimento en el área de ensanche debe tener con capacidad estructural similar a la del resto de la sección del pavimento.

1.5.16 **Capítulo 16 - Performance o Comportamiento de Pavimentos**: En este capítulo se tratan los temas relativos a Procedimiento General; Niveles de Servicio; Ejemplos de Verificación de Estructuras de Pavimento por Niveles de Servicio.

1.5.17 **Capítulo 17 - Abreviaturas y Glosario de nuevos Términos**; que contiene abreviaturas y un glosario de nuevos términos técnicos utilizados en la redacción del presente Manual.



DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
V°B°

CAPÍTULO II

ÁMBITO DE APLICACIÓN





ÁMBITO DE APLICACIÓN

El Manual de Suelos y Pavimentos es de aplicación en:

1. Las Carreteras del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), que se jerarquiza en las siguientes tres redes viales: Red Vial Nacional, Red Vial Departamental o Regional y Red Vial Vecinal.
2. En diseño de nuevas carreteras y de mejoramientos de carreteras.
3. En proyectos de reconstrucción de carreteras.
4. En proyectos de refuerzo de pavimentos.

El Manual no es aplicable para los siguientes casos que deberán ser materia de Estudio Especial, con análisis técnico de alternativas y justificación de la solución adoptada:

1. Pavimentos sobre puentes: estos pavimentos dependen del diseño de la superestructura del puente (losa y viga), no hay propiamente un diseño de pavimentos en puentes, solamente una superficie de rodadura, asfáltica o de concreto, que el ingeniero estructural la considera en su diseño. En caso de superficies con capa asfáltica, se tendrá en cuenta la mitigación de la reflexión de fisuras debido a las juntas de la losa.

2. Túneles de carreteras: en este caso los diseños deben considerar características físico-mecánicas del cimiento, de las capas estructurales del pavimento y su variación durante el periodo de análisis, aspectos de drenaje, subdrenaje, condiciones de visibilidad, resistencia friccional de la superficie de rodadura, seguridad y confort.

3. Carreteras o caminos en áreas de protección ecológica, reservas nacionales diversas, como son: zonas arqueológicas, parques y zonas protegidas, etc.

4. En zonas urbanas: el presente manual de suelos y pavimentos es para carreteras. Para el caso de pistas urbanas, existe la Norma Técnica de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos.

5. En este Manual se han incluido Catálogos de Estructuras de Pavimentos que ilustran soluciones a considerarse para tráficos menores a 1,100 vehículos pesados (buses y camiones) en ambos sentidos por día en el año base o menor a 30´000,000 de Ejes Equivalentes (para 20 años en el carril de diseño); esta limitación es razonable para la práctica común en la mayoría de los casos.

En tal sentido, para los tráficos mayores a los indicados, y por el alto costo que seguramente implicará la estructura del pavimento, el Ingeniero Responsable efectuará un Estudio Específico para el diseño del pavimento, con análisis de alternativas de pavimento (flexible, semirrígido y rígido), verificación del comportamiento de las diferentes alternativas, de estructuras de pavimento, durante el periodo de análisis y selección de la alternativa óptima desde el punto de vista técnico - económico.

6. Para que se apoye el afirmado o la estructura del pavimento, se requiere que los últimos 0.60 m de la capa de suelos debajo del nivel de la sub rasante tenga un CBR ≥ 6%. Si los suelos no cumplen esta condición por tratarse de suelos de mala calidad, CBR < 6%, es decir suelos blandos o muy compresibles o con materia orgánica o suelos pobres e inadecuados; el Ingeniero Responsable considerará la estabilización, mejora o refuerzo de los suelos, según la naturaleza de los mismos, efectuando estudios geotécnicos de estabilidad y de asentamientos mediante los cuales el mencionado Ingeniero sustentará la solución adoptada precisando en su Informe Técnico que el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. Recomendándose para la ejecución de los mencionados estudios, la participación de profesionales especializados en esta materia, que apliquen un criterio amplio, que permita el conocimiento de las propiedades del suelo de cimentación y de acuerdo a ello proponer alternativas de solución, seleccionando la alternativa óptima justificando la solución adoptada.

No son materia de la Sección Suelos y Pavimentos del Manual, los temas de Geología, de Geotecnia y de Estabilidad de Taludes. Estos temas corresponden a otras secciones del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

Dirección de Normatividad Vial - DGCyF - MTC

V°B° Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

CAPÍTULO III

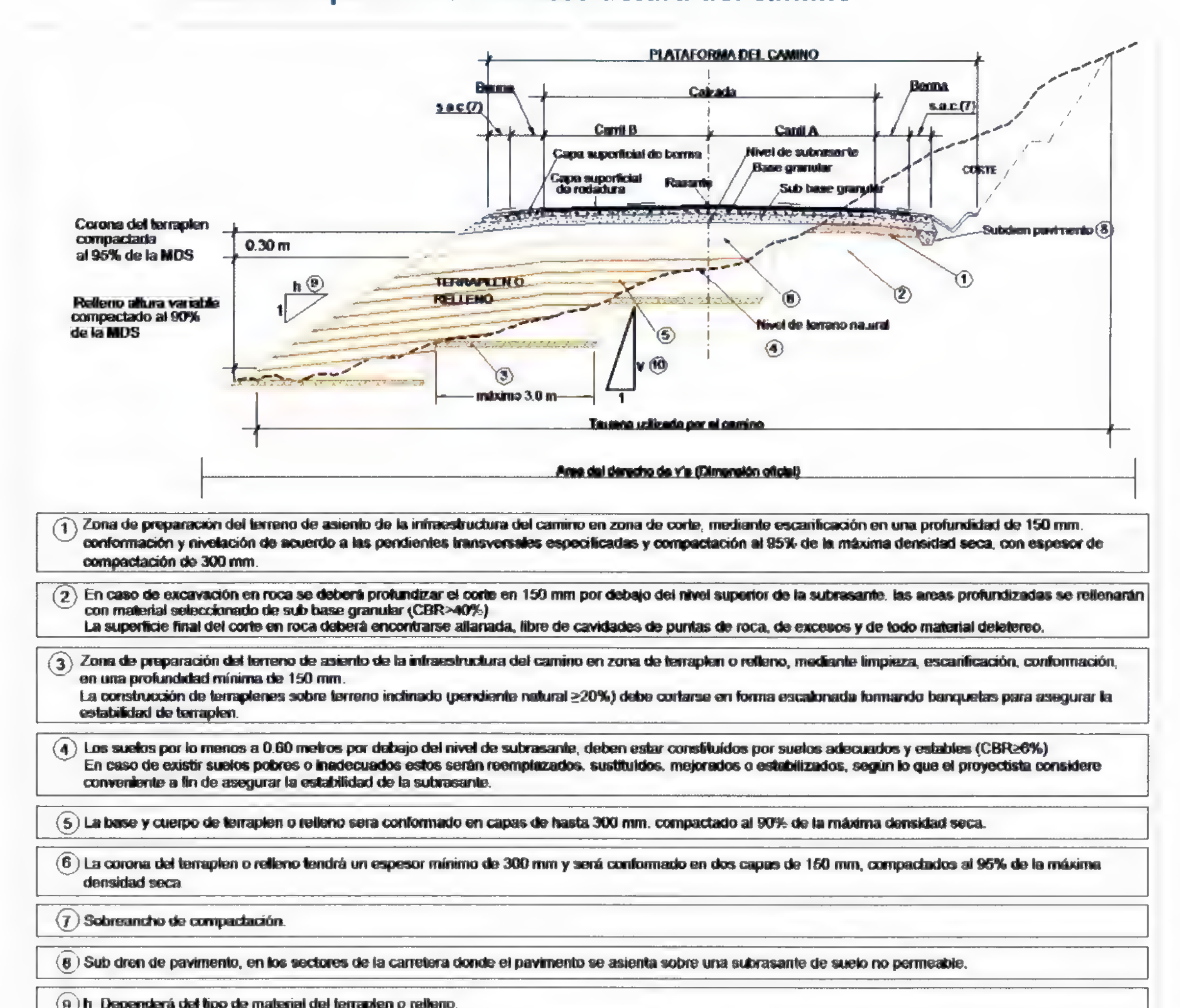
COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA DEL CAMINO




COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA DEL CAMINO

El Figura 3-1 presenta los componentes del Camino que son definidos en los siguientes acápites.

Figura 3-1
Sección Típica de la Infraestructura del camino



(1) Zona de preparación del terreno de asiento de la infraestructura del camino en zona de corte, mediante escarificación en una profundidad de 150 mm. conformación y nivelación de acuerdo a las pendientes transversales especificadas y compactación al 95% de la máxima densidad seca, con espesor de compactación de 300 mm.

(2) En caso de excavación en roca se deberá profundizar el corte en 150 mm por debajo del nivel superior de la subrasante. las areas profundizadas se rellenarán con material seleccionado de sub base granular (CBR>40%)
La superficie final del corte en roca deberá encontrarse allanada, libre de cavidades de puntas de roca, de excesos y de todo material deletereo.

(3) Zona de preparación del terreno de asiento de la infraestructura del camino en zona de terraplen o relleno, mediante limpieza, escarificación, conformación, en una profundidad mínima de 150 mm.
La construcción de terraplenes sobre terreno inclinado (pendiente natural ≥20%) debe cortarse en forma escalonada formando banquetas para asegurar la estabilidad de terraplen.

(4) Los suelos por lo menos a 0.60 metros por debajo del nivel de subrasante, deben estar constituídos por suelos adecuados y estables (CBR≥6%)
En caso de existir suelos pobres o inadecuados estos serán reemplazados, sustituidos, mejorados o estabilizados, según lo que el proyectista considere conveniente a fin de asegurar la estabilidad de la subrasante.

(5) La base y cuerpo de terraplen o relleno sera conformado en capas de hasta 300 mm. compactado al 90% de la máxima densidad seca.

(6) La corona del terraplen o relleno tendrá un espesor mínimo de 300 mm y será conformado en dos capas de 150 mm, compactados al 95% de la máxima densidad seca

(7) Sobreancho de compactación.

(8) Sub dren de pavimento, en los sectores de la carretera donde el pavimento se asienta sobre una subrasante de suelo no permeable.

(9) h Dependerá del tipo de material del terraplen o relleno.

(10) v Dependerá del tipo de material de corte

3.1 Preparación del terreno

Se denomina preparación y conformación del terreno natural: el allanado, nivelado y compactado sobre el que se construirá la infraestructura del camino. En territorios con fuertes pendientes transversales (pendiente natural ≥ 20%), la explanada se construye formando terrazas. Cuando el terreno natural de la explanada es de mala calidad, éste debe ser reemplazado o estabilizado para que la explanada sea estable.





3.2 Explanación

Se denomina explanación, al movimiento de tierras, conformado por cortes y rellenos (terraplén), para obtener la plataforma de la carretera hasta el nivel de la sub rasante del camino.

3.2.1 Terraplén

El terraplén es la parte de la explanación situada sobre el terreno preparado. También se conoce como relleno.

La base y cuerpo del terraplén o relleno será conformado en capas de hasta 0.30m y compactadas al 90% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

La corona es la parte superior del terraplén tendrá un espesor mínimo de 0.30m y será conformada en capas de 0.15m, compactadas al 95% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

3.2.2 Corte

El corte es la parte de la explanación constituida por la excavación del terreno natural hasta alcanzar el nivel de la Sub rasante del Camino.

El fondo de las zonas excavadas se preparará mediante escarificación en una profundidad de 0.15m, conformando y nivelando de acuerdo con las pendientes transversales especificadas en el diseño geométrico vial; y se compactará al 95% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

En zonas de corte en roca, se deberá excavar como mínimo 0.15m por debajo del nivel superior de la sub rasante, la superficie final del corte en roca deberá quedar allanada, limpia y encontrarse libre de cavidades, de puntas de roca, de excesos y libre de todo material deletéreo. Las zonas profundizadas deberán ser rellenadas, hasta el nivel superior de la sub rasante, con material de relleno seleccionado o de subbase granular, que tenga un CBR ≥ 40%.

3.3 Sub rasante del camino

La Sub rasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

La sub rasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. La sub rasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las

variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. En la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo debajo del nivel superior de la sub rasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo proctor modificado (MTC EM 115).

Los suelos por debajo del nivel superior de la sub rasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con CBR ≥ 6%. En caso de que el suelo, debajo del nivel superior de la sub rasante, tenga un CBR < 6% (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica. En el Capítulo 9 Estabilización de Suelos, se describen diversos tipos de estabilización de suelos.

3.4 Afirmado

El Afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas.

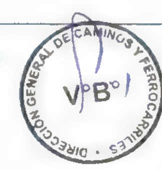
3.5 Pavimento

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.

- Capa de Rodadura: Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.
- Base: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante (CBR ≥ 80%) o será tratada con asfalto, cal o cemento.
- Subbase: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular (CBR ≥ 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento.

Los tipos de pavimento incluidos en el Manual son los siguientes:

- Pavimentos Flexibles
- Pavimentos Semirrígidos
- Pavimentos Rígidos



El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivos. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- Pavimento de concreto simple con juntas
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo

El dimensionamiento de las estructuras de pavimento que son propuestas en el Manual, y presentadas en los catálogos son ilustrativas y promueven el estudio de alternativas en cada caso, facilita su uso, pero no sustituye la decisión del Ingeniero Responsable, sobre la estructura de pavimento adoptado, la misma que debe estar plenamente justificada por el mencionado Ingeniero.

Los catálogos que a manera de ilustraciones se presentan en este manual, permiten la uniformidad de los dimensionamientos, facilitan el seguimiento y conocimiento sobre un grupo reducido de secciones estructurales, haciendo más fácil en la etapa post obra la verificación de su comportamiento, seguimiento, gestión de los pavimentos y correcciones o ajustes del caso.

3.6 Drenaje

El sistema de drenaje y subdrenaje de una carretera está previsto para eliminar la humedad en el pavimento y en el prisma de la carretera.

El capítulo 8 Drenaje del presente Manual, incluye los aspectos de protección del prisma de la carretera, drenaje superficial y el subdrenaje de la plataforma y del pavimento.

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL - DGCyF - MTC

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

Para la protección de los suelos del prisma de la carretera, se ilustran casos relacionados con el elevado nivel freático y el movimiento capilar de las aguas.

Para el drenaje superficial de pavimentos se tendrán en cuenta, pendientes transversales mínimas para la sub rasante, subbase, base y superficie de rodadura. El drenaje superficial incluye bombeo, cunetas, alcantarillas, cajas de recolección, badenes, etc.

El drenaje subsuperficial incluye capas drenantes de subbase y base del pavimento, capas de filtro y subdrenes.

Los subdrenes de pavimentos (que son distintos a los subdrenes del terraplén) son necesarios cuando los suelos de sub rasante no son permeables o los taludes de corte o cunetas impiden el drenaje o las capas granulares del pavimento no puedan drenar.

Los subdrenes que deben proyectarse para interceptar filtraciones o rebajar un nivel freático elevado, pueden también utilizarse para drenar la estructura del pavimento, en caso se requiera.





CAPÍTULO IV

SUELOS





SUELOS

En este capítulo se desarrollan pautas para identificar las características y la clasificación de los suelos que se utilizarán en la construcción de los pavimentos de las carreteras del Perú.

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aun con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

4.1 Exploración de suelos y rocas

AASHTO para la investigación y muestreo de suelos y rocas recomienda la aplicación de la norma T 86-90 que equivale a la ASTM D420-69; para el presente manual, se aplicará para todos los efectos el procedimiento establecido en las normas MTC E101, MTC E 102, MTC E 103 y MTC E 104, que recoge los mencionados alcances de AASHTO y ASTM. En este capítulo se dan pautas complementarias para llevar a cabo el muestreo e investigación de suelos y rocas.

Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los casos de:

- cambio en la topografía de la zona en estudio;
- por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular
- delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados;
- zonas que soportarán terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0 m;
- zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural (h < 0.6 m);
- en zonas de corte, se ubicarán los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de sub rasante.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de sub rasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos. Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente (según Norma MTC E 101).

4.2 Caracterización de la sub rasante

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la sub rasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro, estará de acuerdo al cuadro 4.1.

Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, si se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía, tal como se mencionan en el numeral 4.1 del presente manual.

Cuadro 4.1
Número de Calicatas para Exploración de Suelos

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/dia, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/dia, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/dia, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 4 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/dia, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 3 calicatas x km	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/dia, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 2 calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/dia, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	• 1 calicata x km	

Fuente: Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC

El número de calicatas indicado en el cuadro 4.1, se aplica para pavimentos nuevos, reconstrucción y mejoramiento. En caso, de estudios de factibilidad o prefactibilidad se efectuará el número de calicatas indicadas en el referido cuadro espaciadas cada 2.0 km en vez de cada km. En caso de estudios a nivel de perfil se utilizará información secundaria existente en el tramo del proyecto, de no existir información secundaria se efectuará el número de calicatas del cuadro 4.1 espaciadas cada 4.0 km en vez de cada km. En el caso de refuerzo o rehabilitación de pavimentos se tendrá en cuenta los resultados de las mediciones deflectométricas (deflectograma) y la sectorización de comportamiento homogéneo, efectuando por cada sector homogéneo (mínimo 4 calicatas) en correspondencia con los puntos de ensayo, una calicata donde la deflexión es máxima, una segunda calicata donde la deflexión es cercana a la deflexión característica, una tercera calicata donde la deflexión es cercana a la deflexión promedio y una cuarta calicata donde la deflexión ha sido mínima.

Las calicatas y ensayos efectuados en los estudios de preinversión (factibilidad, prefactibilidad o perfil), formarán parte del estudio definitivo, resultando que para el definitivo será sólo necesario efectuar calicatas y ensayos complementarios a los de estudios de preinversión, los mismos que sirven eventualmente, además como comprobatorios.

En caso el tramo tenga una longitud entre 500 m y 1,000 m el número de calicatas a realizar será la cantidad de calicatas para un kilómetro indicada en el cuadro 4.1. Si el tramo tiene una longitud menor a 500 m, el número de calicatas a realizar será la mitad de calicatas indicada en el cuadro 4.1.

Si a lo largo del avance del estacado las condiciones topográficas o de trazo, muestran por ejemplo cambios en el perfil de corte a terraplén; o la naturaleza de los suelos del terreno evidencia un cambio significativo de sus características o se presentan suelos erráticos o irregulares, se deben ejecutar más calicatas por kilómetro en puntos singulares, que verifiquen el cambio.

También se determinará la presencia o no de suelos orgánicos, suelos expansivos, napa freática, rellenos sanitarios, de basura, etc., en cuyo caso las calicatas deben ser más profundas, delimitando los sectores con sub rasante pobre o inadecuada que requerirá, para determinar el tipo de estabilización o mejoramiento de suelos de la sub rasante, de estudios geotécnicos de estabilidad y de asentamientos donde el Ingeniero Responsable sustente en su Informe Técnico que la solución adoptada según la naturaleza del suelo, alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeablidad, compresibilidad y durabilidad. Este tipo de estudios también se realizarán en caso de terraplenes con altura mayor a 5.0 m. En este caso, los valores representativos resultado de los ensayos será sólo válida para el respectivo sector.

Donde se encuentre macizo rocoso dentro de la profundidad de investigación, se deberá aplicar lo establecido en la norma MTC E 101.

4.2.1 Registros de excavación

De los estratos encontrados en cada una de las calicatas se obtendrán muestras representativas, las que deben ser descritas e identificadas mediante una tarjeta con la ubicación de la calicata (con coordenadas UTM - WGS84), número de

Dirección de Normatividad DGCF - MTC
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles V°B°

muestra y profundidad y luego colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Así mismo, durante la ejecución de las investigaciones de campo se llevará un registro en el que se anotará el espesor de cada uno de los estratos del subsuelo, sus características de gradación y el estado de compacidad de cada uno de los materiales. Así mismo se extraerán muestras representativas de la sub rasante para realizar ensayos de Módulos de resiliencia (M_R) o ensayos de CBR para correlacionarlos con ecuaciones de M_R, la cantidad de ensayos dependerá del tipo de carretera (ver cuadro 4.2).

Cuadro 4.2
Número de Ensayos M_R y CBR

Tipo de Carretera	N° M_R y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	• Calzada 2 carriles por sentido: 1 M_R cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 1 M_R cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 1 M_R cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	• Calzada 2 carriles por sentido: 1 M_R cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 1 M_R cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 1 M_R cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	• 1 M_R cada 3 km y 1 CBR cada 1 km
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	• Cada 1.5 km se realizará un CBR • (*)
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	• Cada 2 km se realizará un CBR • (*)
Carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	• Cada 3 km se realizará un CBR

Fuente: Elaboración Propia, teniendo en cuenta el Tipo de Carretera establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC

(*): La necesidad de efectuar los ensayo de modulos de resilencia, será determinado en los respectivos términos de referencia, previa evaluación de la zona de estudio y la importancia de la obra.

El número de ensayos indicado en el cuadro 4.2, se aplica para pavimentos nuevos, mejoramiento y reabilitación. En caso, de estudios de factibilidad o prefactibilidad se efectuará el número de ensayos indicados en el referido cuadro, por 2 veces la longitud indicada (ejemplo, para Carreteras de Tercera Clase "Cada 4.0 km se realizará un CBR" en lugar de un CBR cada 2.0 km. En caso de estudios a nivel de perfil se utilizará información secundaria existente en el tramo del proyecto, de no existir información secundaria se efectuará el número de ensayos del cuadro 4.2, por 3 veces la longitud indicada (ejemplo, para Carreteras de Segunda Clase "Cada 4.5 km se realizará un CBR" en lugar de un CBR cada 1.5 km). Para el caso de refuerzo o rehabilitación de pavimentos, se tendrá en cuenta las mediciones deflectométricas (deflectograma) y la sectorización de comportamiento homogéneo, efectuando por cada sector homogéneo (mínimo dos CBR) en correspondencia con los puntos de ensayo, un CBR donde la deflexión ha

sido máxima y el segundo CBR donde la deflexión es cercana a la deflexión característica.

Los ensayos de M_R o de CBR efectuados en los estudios de preinversión (factibilidad, prefactibilidad o perfil), formarán parte del estudio definitivo, resultando que para el definitivo será sólo necesario efectuar ensayos complementarios a los de estudios de preinversión, los mismos que sirven eventualmente, además como comprobatorios.

En caso el tramo tenga una longitud menor a la indicada, en el **cuadro 4.2**, para el número de M_R o de CBR a realizar, la cantidad de ensayos indicada en el cuadro debe ser tomada como mínima.

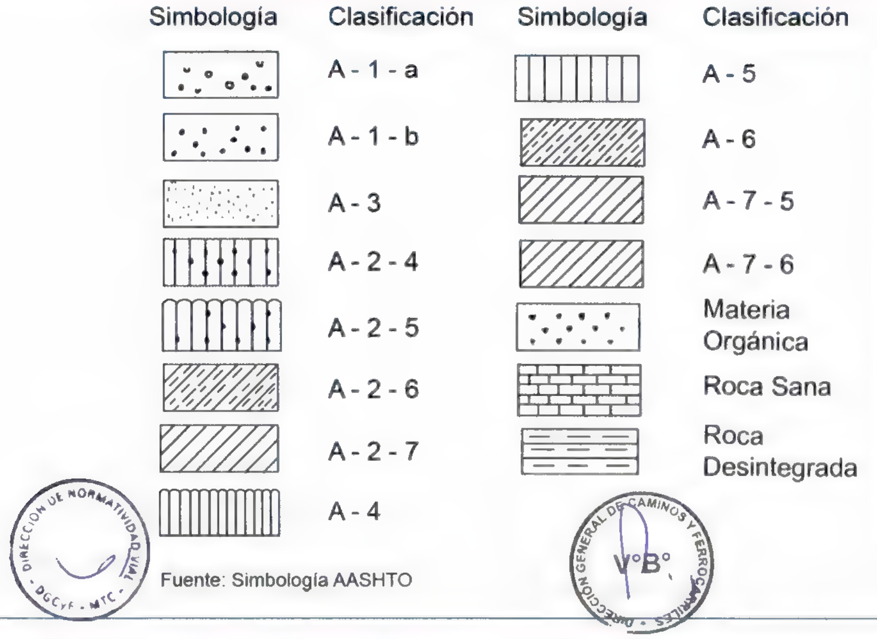
Se podrán realizar ensayos in situ, como el CBR en el terreno según ensayo MTC E 133-2000 y el ensayo mediante Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), cuya principal limitación se presenta en las mediciones de suelos con bolonería, pero resulta muy útil en suelos finos o blandos, donde precisamente se requiere de mayores evaluaciones del suelo y sus estratos, por lo que en este caso debe efectuarse este tipo de ensayos que permitirá tramificar mejor la capacidad soporte de la sub rasante. La cantidad de ensayos mínima será igual al número de calicatas indicado en el **cuadro 4.1**.

Los ensayos utilizando el LWD (deflectómetro de impacto liviano) o el SPT (ensayo de penetración estándar), se efectuarán de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales del MTC vigente, complementariamente se podrán utilizar las normas internacionales ASTM o AASHTO.

4.3 Descripción de los suelos

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS, se utilizarán los signos convencionales de los **cuadros 4.3 y 4.4**:

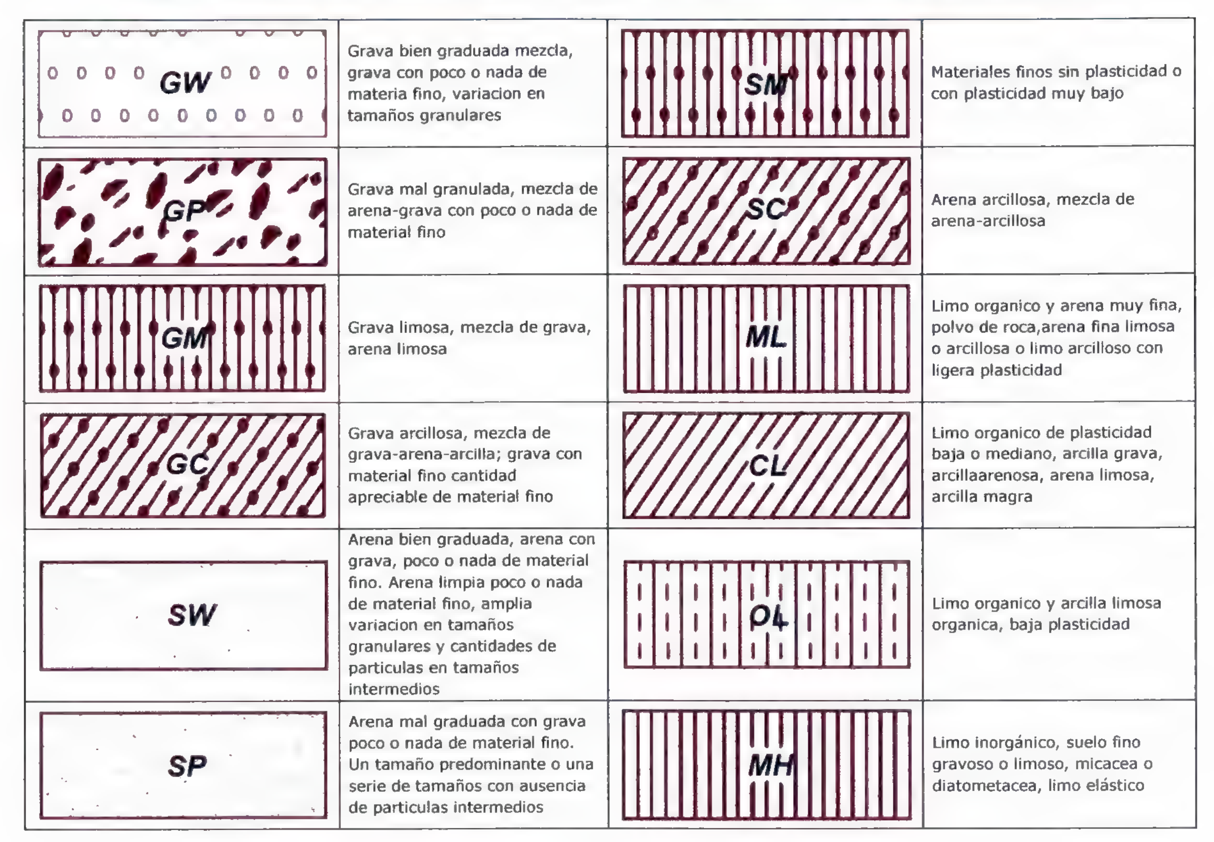
Cuadro 4.3
Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO



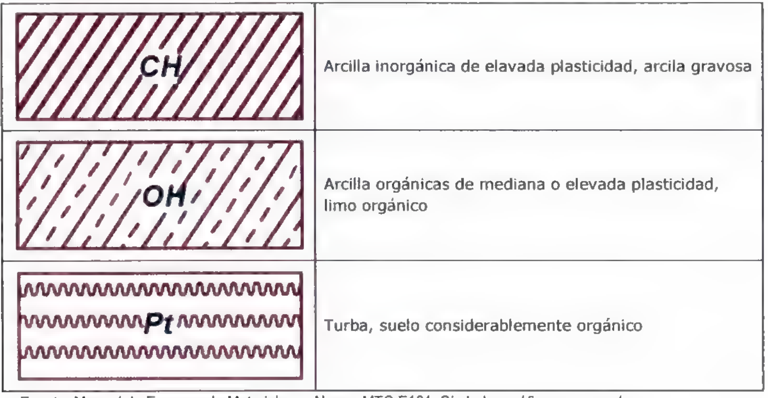
Fuente: Simbología AASHTO

Cuadro 4.4

Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS



GW	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variacion en tamaños granulares	SM	Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
GP	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino	SC	Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
GM	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa	ML	Limo organico y arena muy fina, polvo de roca,arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
GC	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino	CL	Limo organico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcillaarenosa, arena limosa, arcilla magra
SW	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variacion en tamaños granulares y cantidades de particulas en tamaños intermedios	OL	Limo organico y arcilla limosa organica, baja plasticidad
SP	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de particulas intermedios	MH	Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico



CH	Arcilla inorgánica de elavada plasticidad, arcila gravosa
OH	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico
Pt	Turba, suelo considerablemente orgánico

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales – Norma MTC E101, Simbolos gráficos para suelos

Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son:

a. Granulometría: representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

Cuadro 4.5
Clasificación de suelos según Tamaño de partículas

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

b. La Plasticidad: es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg.

Los Límites de Atterberg establecen cuán sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC E 112).

Límite Líquido (LL), cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

Límite Plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Límite de Contracción (retracción), cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el Índice de plasticidad IP (ensayo MTC E 111) que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:





Cuadro 4.6
Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, de acuerdo a su magnitud puede ser un elemento riesgoso en un suelo de sub rasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

c. **Equivalente de Arena:** Es la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en los suelos o agregados finos (ensayo MTC E 114). Es el ensayo que da resultados parecidos a los obtenidos mediante la determinación de los límites de Atterberg, aunque menos preciso. Tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de efectuar.

El valor de Equivalente de Arena (EA) es un indicativo de la plasticidad del suelo:

Cuadro 4.7
Clasificación de suelos según Equivalente de Arena

Equivalente de Arena	Característica
si EA > 40	el suelo no es plástico, es arena
Si 40 > EA > 20	el suelo es poco plástico y no heladizo
si EA < 20	el suelo es plástico y arcilloso

d. **Índice de Grupo:** es un índice normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la fórmula:

$$\mathbf{IG = 0.2\,(a) + 0.005\,(ac) + 0.01(bd)}$$

Donde:

a = F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz Nº 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

b = F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz Nº 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

c = LL - 40 (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

d = IP-10 (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

El Índice de Grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice ≥ a 20, un suelo no utilizable para caminos.

Cuadro 4.8
Clasificación de suelos según Índice de Grupo

Índice de Grupo	Suelo de Sub rasante
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

e. Humedad Natural: Otra característica importante de los suelos es su humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de sub rasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten.

La determinación de la humedad natural (ensayo MTC E 108) permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo (ensayo MTC E 132). Sí la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el Proyectista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Sí la humedad natural es superior a la humedad óptima y según la saturación del suelo, se propondrá, aumentar la energía de compactación, airear el suelo, o reemplazar el material saturado.

f. Clasificación de los suelos: Determinadas las características de los suelos, según los acápites anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; y, luego clasificar los suelos.

La clasificación de los suelos se efectuará bajo el sistema mostrado en el cuadro 4.9. Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

Cuadro 4.9
Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A – 2	GM, GC, SM, SC
A – 3	SP
A – 4	CL, ML
A – 5	ML, MH, CH
A – 6	CL, CH
A – 7	OH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers

Para complemetar la información se presenta el **cuandro 4.10**, que muestra la Clasificación de los Suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282.





Cuadro 4.10
Clasificación de los Suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)				
Clasificación de Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	mín. 51									
F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx.10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36
Caracteristicas de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)												
Caracteristicas de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)												
LL: Límite de Líquido				máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	Mín. 41	máx. 40	mín. 41	mín. 41
IP: Índice de Plasticidad	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11 (a)	mín. 11 (b)
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillos		
Estimación general del suelo como sub rasante	Exelente a bueno					Regular a insuficiente						

(a) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30.
(b) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30.
- Cuando se requiera relacionar los grupos con el Índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-18:182-6 (3), A-4(5),A-7-5 (17), etc
  IG = (F-35) [0.2+0.005 ((LL-40)] +0.01 (F-15)(IP-10).



g. Ensayos CBR: (ensayo MTC E 132), una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO y SUCS, para caminos contemplados en este manual, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará el programa de ensayos para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.

Para la obtención del valor CBR de diseño de la sub rasante, se debe considerar lo siguiente:

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.

2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante en función a los siguientes criterios:

   - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
   - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100 m.

   Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de sub rasante, según **Cuadro 4.11**.

3. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de sub rasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

Cuadro 4.11
Categorías de Sub rasante

Categorías de Sub rasante	CBR
S_0 : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S_1 : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S_2 : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S_3 : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S_4 : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S_5 : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.1
Correlaciones Típicas entre las Clasificaciones y Propiedades de los Suelos con el Módulo de Resiliencia (*)

Categoria de subrasante	Inadecuada	Pobre	Regular	Bueno	Muy Bueno	Excelente
Mr (Ksi)						
CBR (%)						
Valor R						
Clasificación de Suelos AASHTO						
Clasificación de Suelos SUCS						

Fuente: Appendix CC-1 "Correlation of CBR Values with Soil Index Properties"- NCHRP Project 1-37A, 2001. Figure 1. Typical Resilient Modulus Correlations to Empirical Soil Properties and Classification Categories. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures.

(*) Valores de CBR y M_R en function a la correlación entre ellas, mencionada en este Manual

$$M_R \text{ (psi)} = 2555 \times CBR^{0.64}$$





h. Ensayo de Módulo Resiliente

El método de diseño de pavimentos predominante en nuestro medio, es el correspondiente a la metodología AASHTO 1993 y el parámetro de importancia requerido por dicha metodologia es el Módulo Resiliente (M_R) o Elástico del material que conforma el par Pavimento-Subrasante.

Debido a lo especializado en la realización del ensayo de Módulo Resiliente, se cuenta con las publicaciones Design Pamphlet for the Determination of Design Subgrade in support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavemnet Strutures (Publicación Nº FHWA-RD-97-083) y Design Pamphlet for the Determination of Layered Elastic Moduli for Flexible Pavement Design in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures (Publicación Nº FHWA-RD-97-077). Además la Guía AASHTO, recomendó para esa edición de 1993 el uso de una correlación M_R-CBR, solo para casos de suelos finos y CBR ≤ 10% obtenido por el método del Cuerpo de Ingenieros USA.

En décadas pasadas y a nivel mundial diversos investigadores hallaron para diferentes tipos de suelos, correlaciones aplicables a su propia realidad y que algunos diseñadores las adoptaron. Uno de estas correlaciones es la planteada por TRRL en 1983 para valores de CBR entre 2% a 12%, la misma que se contempló utilizar en el proyecto NCHRP 1-37A, pero que evaluada a través del proyecto 1-40A del mismo programa NCHRP. Se cuestionó su confiabilidad debido al procedimiento seguido en su determinación (técnicas de propagación de ondas) por lo que no es tomada en cuenta en la última edición de la guía AASHTO-2008 (manual MEPDG), recomendándose más bien (Tabla 11-10) valores característicos de M_R de acuerdo al tipo de suelo.

Para fines de diseño de pavimentos nuevos, se deben obtener los respectivos Módulos de Resiliencia (M_R) mediante el desarrollo del Ensayo en laboratorio. en vez del uso de correlaciones debido a que sus resultados son muy sensibles a los factores relacionados a las propiedades del suelo y procedimientos de ensayo CBR -recordar que es la condición de un suelo sumergido- y por ende tendrían un gran sesgo, por lo que la tendencia de las instituciones especializadas en el tema inciden más en el desarrollo del ensayo de Módulo Resiliente; otra opción a sopesar desde el punto de vista de ingeniería es la adopción de valores típicos del M_R según las características del suelo o material en estudio.

Para ejecutar el ensayo de Módulo Resiliente se utilizará la norma MTC E 128 (AASHTO T274). El Módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndole ciertas características no lineales. El Módulo de resiliencia se usa directamente en el diseño de pavimentos flexibles; y, para el diseño de pavimentos rígidos, debe convertirse a módulo de reacción de la sub rasante (valor k).



Con fines ilustrativos los catálogos de estructuras de pavimentos, mostrados en el presente manual, tienen un carácter referencial, por lo que necesariamente tendrán que ser validados en razón a los criterios expuestos en los párrafos precedentes.

A manera referencial se presenta la **Figura 4.1** de correlaciones típicas entre las clasificaciones y características de los suelos y el Módulo de Resiliencia, preparado por la NAPA Information Series 117 "Guidelines for Use of HMA Overlays to Rehabilitate PCC Pavements", 1994 y que está incluida en el documento Appendix CC-1 "Correlation of CBR values with soil index properties".

4.4 Ensayos de laboratorio

Con las muestras extraídas de las calicatas efectuadas, se realizarán los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
- Límite Líquido ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E 111.
- Contenido de humedad ASTM D-2216, MTC E 108.
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Contenido Sulfatos ASTM D-516
- Contenido Cloruros ASTM D-512
- Contenido Sales Solubles Totales MTC E 219.
- Clasificación AASHTO M-145

Ensayos Especiales

- California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC E 132, o Módulo resiliente de suelos de sub rasante AASHTO T 274, MTC E 128.
- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.
- Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
- Ensayo de Expansión Libre ASTM D-4546
- Colapsabilidad Potencial ASTM D-5333
- Consolidación Uniaxial ASTM D-2435

Los ensayos deben ser ejecutados en laboratorios competentes que cuenten con:

- Personal calificado
- Instalaciones que faciliten la correcta ejecución de los ensayos
- Métodos y procedimientos apropiados para la realización de los ensayos, siguiendo las Normas de Ensayos del MTC o normas internacionales como ASTM o AASHTO, incluyendo técnicas estadísticas para el análisis de los datos de ensayo.
- Equipos debidamente calibrados, que garanticen la exactitud o validez de los resultados de los ensayos. Antes del inicio de los ensayos o de la puesta en servicio el proveedor debe presentar los respectivos certificados de



calibración de sus equipos, emitidos por Laboratorios de Calibración acreditados.

- Aseguramiento de calidad de los resultados de los ensayos.
- Informe de resultados de cada ensayo, presentado en forma de informe de ensayo o certificado de ensayo, que exprese el resultado de manera exacta, clara, sin ambigüedades y objetivamente, de acuerdo con las instrucciones especificas de los métodos de ensayo.

4.5 Informe de exploración

4.5.1 Perfil estratigráfico

En base a la información obtenida de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio se realizará una descripción de los diferentes tipos de suelos encontrados en las calicatas o pozos. Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará los suelos que controlarán el diseño y se establecerá el programa de ensayos para definir el CBR de diseño para cada sector homogéneo.

4.5.2 Sectorización

Para efectos del diseño de la estructura del pavimento se definirán sectores homogéneos donde, a lo largo de cada uno de ellos, las características del material del suelo de fundación o de la capa de sub rasante se identifican como uniforme. Dicha uniformidad se establecerá sobre la base de las características físico-mecánicas de los suelos (Clasificación, plasticidad). El proceso de sectorización requiere de análisis y criterio del proyectista, teniendo en cuenta las características del material de suelo de la sub rasante, el tráfico vial, el drenaje y/o subdrenaje, microclimas y otros aspectos que considere el Ingeniero Responsable.

Para la identificación de los sectores de características homogéneas, se tendrá en cuenta los resultados de las prospecciones y ensayos, previamente a ello se deberá establecer una estrategia para efectuar el programa exploratorio y, a partir de ello, se ordenará la toma de las muestras necesarias de cada perforación, de manera de poder evaluar aquellas características que siendo determinantes en su comportamiento, resulten de sencilla e indiscutible determinación.

4.5.3 Cortes y terraplenes

Los taludes de corte dependerán de la naturaleza del terreno y de su análisis de estabilidad (Estudio Geotécnico), pudiendo utilizarse (a modo referencial) las siguientes relaciones de corte en talud (V: H), que son apropiados para los tipos de materiales (rocas y suelos) indicados en el cuadro 4.12.





Cuadro 4.12
Taludes de Corte

CLASE DE TERRENO	TALUD (V: H)		
	V ≤ 5m	5m < V ≤ 10m	V >10m
Roca Fija	10 : 1	10 : 1 (*)	(**)
Roca Suelta	6 : 1 - 4 : 1	4:1 – 2 : 1 (*)	(**)
Conglomerados Cementados	4 : 1	(*)	(**)
Suelos Consolidados Compactos	4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados Comunes	3 : 1	(*)	(**)
Tierra Compacta	2 : 1 - 1 : 1	(*)	(**)
Tierra Suelta	1 : 1	(*)	(**)
Arenas Sueltas	1 : 2	(*)	(**)
Zonas blandas con abundante arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	1 : 2 hasta 1 : 2	(*)	(**)

(*) Requiere Banqueta o análisis de estabilidad
(**) Requiere Análisis de Estabilidad
Nota: La relación V: H, indica que V corresponde a la altura vertical del talud y H la distancia horizontal.

Los taludes de relleno igualmente estarán en función de los materiales empleados, pudiendo utilizarse (a modo de taludes de relleno referenciales) los siguientes que son apropiados para los tipos de material incluidos en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.13
Taludes de Relleno

Materiales	Talud (V : H)		
	V ≤ 5m	5m < V ≤ 10m	V >10m
Enrocado	1 : 1	(*)	(**)
Suelos diversos compactados (mayoría de suelos)	1 : 1.5	(*)	(**)
Arenas Limpias	1 : 2	(*)	(**)

(*) Requiere Banqueta o análisis de estabilidad
(**) Requiere Análisis de Estabilidad

4.5.4 Sub rasante

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con CBR ≥ 6%. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, de acuerdo a la naturaleza del suelo, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la mas conveniente técnica y económica. En el Capítulo 9 Estabilización de Suelos, se describen diversos tipos de estabilización de suelos.

Para poder asignar la categoría de sub rasante indicada en el cuadro 4.10, los suelos de la explanación debajo del nivel superior de la sub rasante, deberán tener un espesor mínimo de 0.60 m del material correspondiente a la

categoría asignada, caso contrario se asignará a la categoría inmediata de calidad inferior.

El nivel superior de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una sub rasante excelente - muy buena (CBR ≥ 20 %); a 0.80 m cuando se trate de una sub rasante buena - regular (6% ≤ CBR < 20%); a 1.00 m cuando se trate de una sub rasante pobre (3% ≤ CBR < 6%); y, a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante inadecuada (CBR < 3%). En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

Cuando la capa de sub rasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material separador de 10 cm. de espesor como mínimo o un geosintético, según lo justifique el Ingeniero Responsable.

Se estabilizarán las zonas húmedas locales o áreas blandas o sub rasantes inadecuadas, cuya estabilización o mejoramiento será materia de un estudio geotécnico de estabilidad y de asentamientos donde el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo diversas alternativas como estabilización con cal o cemento, estabilización química de suelos, geosintéticos, pedraplenes, enrocados, capas de arena, reemplazo, etc; definiendo y justificando en su Informe Técnico la solución adoptada, donde se indicará que con la solución adoptada el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeablidad, compresibilidad y durabilidad.

En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de los friajes o las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. En el caso de presentarse en los últimos 0.60 m de la sub rasante, suelos susceptibles al congelamiento por acción climática, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, por acción climática rigurosa, los suelos limosos, igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm; con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0.02 mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm.

La curva granulométrica de la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (Nº 200) se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E 109).

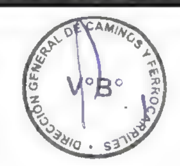




CAPÍTULO V

FUENTES DE MATERIALES Y FUENTES DE AGUA





FUENTES DE MATERIALES Y FUENTES DE AGUA

5.1 Generalidades

Los materiales naturales, tales como las rocas, gravas, arenas y suelos seleccionados, denominados frecuentemente bajo los términos genéricos de "áridos", "inertes" o "agregados", según sus usos y aplicaciones, cumplen un rol significativo e importante en la calidad, durabilidad y economía de las obras viales. La naturaleza y propiedades físicas de dichos materiales, así como las formas en que se presentan y su disponibilidad, serán los factores principales que determinarán los usos de estos, así como el grado de procesamiento que requerirán antes de su empleo.

Las técnicas de diseño y construcción han establecido especificaciones bastante precisas para el uso de estos materiales, tanto en la ejecución de los terraplenes y obras básicas de la carretera, como en las distintas capas del pavimento o en las obras de concreto, por lo tanto una de las tareas más importantes de los proyectistas será asegurar la existencia de "áridos o agregados" con calidad y en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de la obra o identificar fuentes de las cuales puedan ser extraídos materiales que una vez procesados satisfagan las especificaciones fijadas.

La mayor o menor disponibilidad de estos en las proximidades de la obra, así como la intensidad del procesamiento afectan con frecuencia los costos de construcción, por lo cual se justifica una exploración sistemática del área del proyecto, siempre que se puedan lograr reducciones razonables de las distancias de transporte y de los procesos de transformación de los materiales.

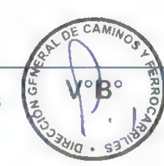
En tal sentido, este Capítulo proporciona a los Ingenieros los criterios necesarios para clasificar y seleccionar las Fuentes de Materiales y Fuentes de Agua con fines de diseño de mezclas y de materiales para los componentes de las capas de la estructura del pavimento.

5.2 Lineamientos generales para un programa de exploración y localización de fuentes de materiales pétreos

Es evidente que el proceso de exploración y localización de fuentes de agregados requiere del conocimiento cabal de los fundamentos acerca de la naturaleza y origen geológico de las rocas que generan los materiales pétreos e inertes que se requieren en la construcción vial, así como los criterios, especificaciones y normas de ingeniería y geotecnia que permitan evaluar la conveniencia de uso de esos materiales y los procedimientos más apropiados de explotación, elaboración y utilización económica de los mismos.

La búsqueda e identificación de dichas fuentes debe iniciarse por tanto a partir de la definición de los siguientes conceptos:

a) Naturaleza y tipo de los agregados o áridos requeridos.
b) Volumen o cantidades de cada tipo de material que será empleado en la construcción o conservación.



c) Clases de rocas o suelos que responden a las características de los materiales necesarios y formas de ocurrencia en el área del proyecto.
d) Disponibilidad de medios de explotación y procesamiento.

Normalmente, en las distintas etapas de un proyecto, ya sea a nivel de Estudio de pre-inversión y de Estudio Definitivo, se incluyen tareas referidas a la identificación y localización de materiales naturales para la obra; por lo tanto, en correspondencia con estos niveles de estudio debe ir incrementándose el conocimiento de las disponibilidades de tales elementos y precisándose todos los factores que intervendrán en los diseños finales y que tendrán una incidencia significativa en los costos de construcción y conservación.
Se asume entonces que en el proceso de identificación, localización y evaluación de fuentes de materiales, deberá existir una etapa de reconocimiento e identificación, otra de localización y evaluación preliminar y finalmente una de delimitación, calificación y cuantificación.

1. Reconocimiento e Identificación: El estudio de los antecedentes geológicos de la zona del proyecto, permitirá elaborar un mapa - geológico o litológico en el cual se pueden definir las áreas donde existirán posibilidades de hallar los materiales requeridos, a través del conocimiento de las formaciones geológicas predominantes y la naturaleza de las rocas que las constituyen. Un análisis de las fotografías áreas o satelitales disponibles, en las cuales podrán identificarse afloramientos rocosos, terrazas o playas en las márgenes de los ríos, complementadas con información extraída de proyectos anteriores u obtenida a través de pobladores de la región, puede confirmar la existencia de tales materiales, precisar las áreas en las cuales continuar desarrollando las siguientes etapas y planificar la forma y los medios que deberán utilizarse en ellas.

2. Localización y Evaluación Preliminar: Esta etapa requiere la verificación en el terreno de las fuentes identificadas en la etapa anterior, la auscultación superficial y toma de muestras representativas en algunas de las localizaciones que sean a su vez representativas de otras en la región y que sean relativamente más accesibles. Dicha auscultación, conjuntamente con los resultados de los ensayos de calidad que se efectuarán sobre las muestras recogidas permitirán conocer las características típicas de los materiales, su forma de presentación (ubicación, continuidad, homogeneidad, tamaños, configuración de partículas, calidad, etc.). Asimismo podrá obtenerse una cubicación o estimación de los volúmenes disponibles y su aptitud para ser utilizados en diversos aspectos de la obra. Generalmente, no es posible tener acceso a todos los lugares identificados, pero con el auxilio de fotografías aéreas o satelitales a escalas convenientes o vuelos de exploración sobre las zonas demarcadas pueden extrapolarse resultados o encontrar afinidades que sitúan para identificar otras fuentes o complementar su evaluación.

   En esta etapa la auscultación superficial y evaluación de los materiales en el terreno deberá basarse en procedimientos expeditivos y simples que puedan contribuir a reconocer algunas propiedades básicas y que hagan

posible una selección preliminar descartando aquellos materiales notoriamente inapropiados. Tales procedimientos comprenden desde observación de las superficies intemperizadas, excavaciones de poca profundidad, identificación de los finos (arcillas, limos) y su plasticidad, prueba de dureza de las partículas (rallado con objeto de acero), friabilidad o disgregación fácil, resistencia al golpe de martillo de las partículas mayores, etc. Todas estas simples pruebas pueden en conjunto conducir a la decisión de eliminar una determinada fuente, evitando mayores gastos en transporte de muestras y análisis que culminarían en un resultado similar.

3. Delimitación, Calificación y Cuantificación: A nivel de estudio definitivo del proyecto vial es necesario disponer de información concreta acerca de la calidad de los materiales, requerimientos de procesamiento, rendimientos, volúmenes disponibles, formas de acceso a las fuentes, distancias de transporte, y en general de todos aquellos elementos que contribuyan a precisar los costos de la obra. Por tal motivo el estudio de canteras requerirá una exploración detallada de las fuentes seleccionadas, un mapeo y delimitación de la misma, asi como la ejecución sistemática de pozos y sondeos, conjuntamente con el muestreo y análisis de los materiales extraídos de estos para poder elaborar los perfiles mediante los cuales se pueda clasificar y cuantificar con precisión los volúmenes disponibles. La forma de sondaje y muestreo, así como los análisis a que serán sometidas las muestras dependerán del uso a que estarán destinados los materiales.

5.3 Estudio de canteras de suelo

El interés del estudio de las fuentes de materiales de donde se extraerán agregados para diferentes usos principales como mejoramientos de suelos, terraplenes, afirmado, agregados para rellenos, subbase y base granular, agregados para tratamientos bituminosos, agregados para mezclas asfálticas y agregados para mezclas de concreto, es determinar sí los agregados son o no aptos para el tipo de obra a emplear, en tal sentido se requiere determinar sus características mediante la realización de los correspondientes ensayos de laboratorio.

5.3.1 Ubicación

Las Fuentes de Materiales o Canteras serán ubicadas en función a su distancia de la obra a realizar (centro de gravedad), considerando para su selección la menor distancia a la obra, siempre que cumplan con la calidad y cantidad (potencia) requeridas por la obra. Para el efecto, se realizará un levantamiento topográfico del recorrido desde el inicio de la cantera a la obra, precisando kilometraje, longitud y tipo de acceso, asimismo se delimitará topográficamente los linderos de las fuentes de materiales o canteras.

5.3.2 Descripción

Las Canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones que

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD · DGCYF · MTC
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas, sondeos y/o trincheras de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio.

El estudio de canteras incluye la accesibilidad a los bancos de materiales, descripción de los agregados, usos, tratamiento, tipo, periodo de explotación, propiedad, permisos de uso y otras informaciones.

5.3.3 Muestreo

Para muestreo de los estratos el consultor se ceñirá al Manual de Ensayo de Materiales del MTC vigente, norma MTC E 101. En lo no especificado en el Manual de Ensayo de Materiales, se procederá de acuerdo a lo siguiente:

Se realizará mínimo 05 exploraciones, por cada área menor o igual a una hectárea, la ubicación de los puntos de prospección será a distancias aproximadamente iguales, para luego densificar la exploración si se estima pertinente. Las exploraciones consistirán en calicatas, sondeos y/o trincheras, a profundidades no menores de la profundidad máxima de explotación, a fin de garantizar la real potencia de los bancos de materiales.

La cantidad de muestras extraidas de canteras deberá ser tal que permita efectuar los ensayos exigidos, así como también ensayos de verificación para rectificar y/o ratificar resultados poco frecuentes.

Las muestras representativas de los materiales de cada cantera serán sometidas a los ensayos estándar, a fin de determinar sus características y aptitudes para los diversos usos que sean necesarios (rellenos, afirmado, subbase, base, tratamientos superficiales, carpetas asfálticas, obras de concreto hidráulico, etc.).

Se presentarán registros de exploraciones para cada una de las prospecciones, en donde se detallarán las ubicaciones de las prospecciones con coordenadas UTM-WGS84, las características de los estratos encontrados tales como: tamaño, forma, color, espesor de cada estrato, profundidad de la prospección, así como material fotográfico de las calicatas; de tal manera que en los registros se precisen las características de los estrados encontrados.

Estas muestras se clasifican según Hvorslev (1949), en muestras representativas y no representativas:

- Muestras representativas, son las que contienen todos los materiales constituyentes del estrato, del cual fueron tomadas, no han tenido ningún cambio químico. Sin embargo su condición física o estructural, sí se ha alterado, además de su contenido de humedad, estas muestras se usan para llevar a cabo una clasificación general, gracias a sus propiedades índice, y la identificación de cada material.

- Muestras no representativas, se les conoce así, a las muestras, que no representan algún estrato en especial, sino que sus partículas se han mezclado con los de otros estratos o materiales, por lo cual resultan inadecuados para un examen de laboratorio, sin embargo, son útiles para

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD · DGCyF · MTC
V°B° DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

establecer una clasificación preliminar, y una determinación de las profundidades a las cuales ocurren cambios mayores en los estratos, y de donde o a partir de cuando, podemos obtener muestras representativas o no alteradas.

5.3.4 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio para determinar las características físicas, químicas y mecánicas de los materiales de las canteras se efectuarán de acuerdo al Manual de Ensayo de Material para Carreteras del MTC (vigente) y serán las que señalen en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para, vigente.

Los ensayos de los materiales deberán ser de dos tipos:

- Estrato por estrato
- Del conjunto de los materiales

Los ensayos deben ser ejecutados en laboratorios competentes que cuenten con:

- Personal calificado
- Instalaciones que faciliten la correcta ejecución de los ensayos
- Métodos y procedimientos apropiados para la realización de los ensayos, siguiendo las Normas de Ensayos del MTC o normas internacionales como ASTM o AASHTO, incluyendo técnicas estadísticas para el análisis de los datos de ensayo.
- Equipos debidamente calibrados, que garanticen la exactitud o validez de los resultados de los ensayos. Antes del inicio de los ensayos o de la puesta en servicio el proveedor debe presentar los respectivos certificados de calibración de sus equipos, emitidos por Laboratorios de Calibración acreditados.
- Aseguramiento de calidad de los resultados de los ensayos.
- Informe de resultados de cada ensayo, presentado en forma de informe de ensayo o certificado de ensayo, que exprese el resultado de manera exacta, clara, sin ambigüedades y objetivamente, de acuerdo con las instrucciones especificas de los métodos de ensayo.

a) Ensayos Estándar

- **Material para Terraplenes:**
  - ✓ Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
  - ✓ Humedad Natural MTC E 108.
  - ✓ Límite Líquido de los suelos ASTM D-4318, MTC E 110.
  - ✓ Límite Plástico e Índice de Plasticidad ASTM D-4318, MTC E 111.
  - ✓ Determinación del Límite de Contracción, sí se encuentra alta Actividad de los finos MTC E 112.
  - ✓ Gravedad Específica de los Suelos, MTC E 113.
  - ✓ Materia Orgánica en Suelos, MTC E 118.

- **Material de Afirmado:**
  - ✓ Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.

- ✓ Límite Líquido Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 110.
- ✓ Límite Plástico Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 111.
- ✓ Clasificación SUCS ASTM D-2487
- ✓ Clasificación de Suelos AASHTO M-145, ASTM D-3282
- ✓ Contenido Sales Solubles Totales, MTC E 219.
- ✓ Materia Orgánica en Arena ASTM C-140, MTC E 213.
- ✓ Partículas Chatas y Alargadas ASTM D-4791
- ✓ Porcentaje de Caras de Fractura ASTM D-5821, MTC E 210.

- **Material de Subbase y Base:**
  - ✓ Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
  - ✓ Material que pasa la Malla N° 200 ASTM C-117, MTC E 202.
  - ✓ Límite Líquido Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 110.
  - ✓ Límite Plástico Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 111.
  - ✓ Clasificación SUCS ASTM D-2487
  - ✓ Clasificación de Suelos AASTHO M-145, ASTM D-3282
  - ✓ Contenido Sales Solubles Totales MTC E 219.
  - ✓ Materia Orgánica en Arena ASTM C-140, MTC E 213.
  - ✓ Partículas Chatas y Alargadas ASTM D-4791
  - ✓ Porcentaje de Caras de Fractura ASTM D-5821, MTC E 210.

- **Tratamiento Superficial:**
  - ✓ Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
  - ✓ Contenido Sales Solubles Totales MTC E 219.
  - ✓ Partículas Chatas y Alargadas ASTM D-4791
  - ✓ Porcentaje de Caras de Fractura ASTM D-5821, MTC E 210.

- **Mezcla Asfáltica:**
  - ✓ Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
  - ✓ Material que pasa la Malla N° 200 ASTM C-117, MTC E202
  - ✓ Límite Líquido Malla N° 200 ASTM D-4318, MTC E 110.
  - ✓ Límite Plástico Malla N° 200 ASTM D-4318, MTC E 111.
  - ✓ Terrones de Arcilla ASTM C-142 MTC E 212.
  - ✓ Contenido Sales Solubles Totales (Agregado Grueso) NTP 339.152
  - ✓ Contenido Sales Solubles Totales (Agregado Fino) NTP 339.152
  - ✓ Materia Orgánica en Arena ASTM C-140, MTC E 213.
  - ✓ Partículas Chatas y Alargadas ASTM D-4791
  - ✓ Porcentaje de Caras de Fractura ASTM D-5821, MTC E 210.
  - ✓ Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso ASTM C-127, MTC E 206.
  - ✓ Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino ASTM C-128, MTC E 205.
  - ✓ Peso Unitario del Agregado Grueso ASTM C-29, MTC E 203.
  - ✓ Peso Unitario del Agregado Fino ASTM C-29, MTC E 203.
  - ✓ Determinación Cuantitativa de Cloruros del Agregado Grueso NTP 339.177
  - ✓ Determinación Cuantitativa de Cloruros del Agregado Fino NTP 339.177
  - ✓ Determinación Cuantitativa Sulfatos Agregado Grueso NTP 339.178
  - ✓ Determinación Cuantitativa Sulfatos Agregado Fino NTP 339.178

- **Concreto Portland:**
  - ✓ Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107 y MTC E 202.
  - ✓ Material que pasa la Malla N° 200 ASTM C-117
  - ✓ Límite Líquido Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 110.
  - ✓ Límite Plástico Malla N° 40 ASTM D-4318, MTC E 111.
  - ✓ Clasificación SUCS ASTM D-2487
  - ✓ Terrones de Arcilla en los agregados ASTM C-142, MTC E 212.
  - ✓ Contenido Sales Solubles Totales MTC E 219 (Agregado Grueso)
  - ✓ Contenido Sales Solubles Totales MTC E 219 (Agregado Fino)
  - ✓ Materia Orgánica en Arena ASTM C-140, MTC E 213.
  - ✓ Partículas Chatas y Alargadas ASTM D-4791
  - ✓ Porcentaje de Caras de Fractura ASTM D-5821, MTC E 210
  - ✓ Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso ASTM C-127, MTC E 206.
  - ✓ Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino ASTM C-128, MTC E 205.
  - ✓ Peso Unitario del Agregado Grueso ASTM C-29, MTC E 203.
  - ✓ Peso Unitario del Agregado Fino ASTM C-29, MTC E 203.
  - ✓ Determinación Cuantitativa de Cloruros del Agregado Grueso NTP 339.177
  - ✓ Determinación Cuantitativa de Cloruros del Agregado Fino NTP 339.177
  - ✓ Determinación Cuantitativa de Sulfatos del Agregado Grueso NTP 339.178
  - ✓ Determinación Cuantitativa de Sulfatos del Agregado Fino NTP 339.178
  - ✓ Carbón y Lignito NTP 400.023, MTC E 211.

b) Ensayos Especiales

Se realizarán para diferentes tipos de material

- **Material de Terraplen**
  - ✓ California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132; o Módulo Resiliente de suelos de sub rasante y materiales de terraplen sin tratar, ensayo AASHTO T 292; o módulo Resiliente de Materiales de suelos y agregados, ensayo AASHTO T 307.
  - ✓ Relación Humedad-densidad Compactada a la Energía Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.

- **Material de Afirmado:**
  - ✓ California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132.
  - ✓ Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207.
  - ✓ Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
  - ✓ Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.

- **Material de Subbase:**
  - ✓ California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132; o Módulo resiliente de materiales de subbase granular sin tratar, ensayo

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

AASHTO T 292; o Módulo Resiliente de Materiales de suelos y agregados, ensayo AASHTO T 307.
- ✓ Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207.
- ✓ Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
- ✓ Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.

- **Material de Base:**
  - ✓ California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132; o Módulo resiliente de materiales de base granular sin tratar, ensayo AASHTO T 292; o Módulo Resiliente de Materiales de suelos y agregados, ensayo AASHTO T 307.
  - ✓ Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207.
  - ✓ Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
  - ✓ Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.
  - ✓ Durabilidad del Agregado Grueso ASTM C-88, MTC E 209.
  - ✓ Durabilidad del Agregado Fino ASTM C-88, MTC E 209.
  - ✓ Índice de Durabilidad MTC E 214.

- **Tratamiento Superficial**
  - ✓ Durabilidad del Agregado Grueso ASTM C-88, MTC E 209.
  - ✓ Adherencia de Piedra MTC E 519.
  - ✓ Riedel Weber MTC E 220.
  - ✓ Terrones de Arcilla y Partículas Friables AASHTO T 112, MTC E 212.
  - ✓ Abrasión los Ángeles AASHTO T96, MTC E 207.

- **Mezcla Asfáltica**
  - ✓ Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
  - ✓ Durabilidad del Agregado Grueso ASTM C-88, MTC E 209.
  - ✓ Durabilidad del Agregado Fino ASTM C-88, MTC E 209.
  - ✓ Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207.
  - ✓ Adherencia de Piedra MTC E 519.
  - ✓ Riedel Weber MTC E 220.
  - ✓ Ensayo Marshall ASTM D-1559 AASHTO T225, MTC E 504.
  - ✓ Ensayo para evaluar el efecto del agua sobre agregados con recubrimientos bituminosos usando agua en ebullición, MTC E 521.
  - ✓ Índice de Durabilidad de Agregados MTC E 214.

- **Concreto Hidráulico**
  - ✓ Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
  - ✓ Durabilidad del Agregado Grueso ASTM C-88, MTC E 209.
  - ✓ Durabilidad del Agregado Fino ASTM C-88, MTC E 209.
  - ✓ Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207.

c) Frecuencia de Ensayos

Las muestras representativas de los materiales de cada cantera serán sometidas a los ensayos, mínimo 5 pruebas por cada tipo de ensayo, de tal forma de cubrir todo el área y volumen de explotación.

Sí para el cumplimiento del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para, vigente, es necesario someter al agregado a un

tratamiento (lavado, venteo, mezclas, etc); se deberá presentar la misma cantidad de resultados de ensayos de materiales, señalado en el párrafo anterior, efectuando ensayos con los agregados después de someterlos a dichos tratamientos a fín de corroborar y verificar sí con dichos tratamientos el material logra cumplir con las especificaciones técnicas.

Se presentará un cuadro resumen de los ensayos efectuados para cada cantera (con la debida indentificación (nombre de cantera, calicata y/o muestra, espesor del estrato, profundidad del pozo exploratorio, etc).

5.3.5 Rendimiento y cubicación

El consultor calculará el rendimiento y potencia de los materiales utilizados para cada uso, así mismo el uso, periodo y equipo de explotación. Los límites de las canteras o fuentes de materiales debe cubrir un área que asegure un volumen de material útil explotable del orden de 1.5 veces las necesidades del proyecto, considerando los factores volumétricos y una reserva en caso en obra se requiera un mayor volumen al previsto.

5.4 Estudio de cantera de roca

5.4.1 Ubicación

Se realizará un levantamiento topográfico del recorrido desde el inicio de la cantera a la obra, precisando kilometraje, longitud y tipo de acceso, asimismo se delimitará topográficamente los linderos de las fuentes de la cantera de roca.

5.4.2 Descripción

El consultor describirá las características del afloramiento rocoso como fracturamiento, volumen, dimensionamiento de los bloques y la metodología del procesamiento de explotación (método de voladura, chancado, etc). El método de voladura incluirá criterios y pautas para la operación de carga, selección de explosivos, procedimientos de prueba y detonación de los explosivos, por lo que se requiere la participación de profesionales especializados en la materia.

5.4.3 Muestreo

Para muestreo de los estratos el consultor se ceñirá al Manual de Ensayo de Materiales del MTC vigente, norma MTC E 101. En lo no especificado en el Manual de Ensayo de Materiales, se procederá de acuerdo a lo siguiente: El consultor realizará exploraciones mínimo 3 prospecciones (calicatas o trincheras), a fin de determinar el basamento rocoso. Se extraerá roca para realizar ensayos de laboratorio, se podrá emplear otros métodos de muestreo que sean autorizados por la Entidad competente.



DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

5.4.4 Ensayos de Laboratorio

Para los ensayos de laboratorio serán chancado y se realizarán ensayos estándar y especiales como se indica en el item 5.3.4 - Ensayos de laboratorio.

Se realizarán:

- Ensayo petrográfico microscópico de la roca ASTM D-1889
- Carga Puntual ASTM D5731-95
- Compresión Simple en Roca ASTM D-2928
- Propiedades Físicas ASTM D-2216-98
- Determinación de Parámetros de Resistencia al Corte Mediante Compresion Triaxial. AASHTO T296, MTC E 131.
- Corte Directo (Consolidado Drenado). AASHTO T 236, MTC E 123.
- Analisis de Estabilidad Cinemática Mediante Proyecciones Estereográficas
- Clasificaciones Geomecánicas (Bieniaswki, Barton, Liem, Jacobs, etc) ú otros Aplicables a Taludes y Análisis de Fallas.
- Ensayo R.Q.D. (Rock Quality Designation).

5.4.5 Rendimiento de Cubicación

El consultor calculará el rendimiento y potencia del basamento rocoso para cada uso, así mismo el periodo y equipo de explotación. Los límites de la cantera de roca debe cubrir un área que asegure un volumen de material útil explotable del orden de 1.5 veces las necesidades del proyecto, considerando los factores volumétricos y una reserva en caso en obra se requiera un mayor volumen al previsto.

5.5 Fuentes de agua

5.5.1 Ubicación

Se determinará las fuentes de agua y distancia a la obra, así mismo se tendrá en cuenta el tipo de fuente, calidad de agua y disponibilidad y variación estacional.

5.5.2 Muestreo

El muestreo es el primer paso para la determinación de la calidad de una fuente de agua, por lo que la persona que recoge una muestra y la lleva al laboratorio debe ser calificada para tal fin. En este sentido debe asegurarse que la muestra sea representativa de la fuente cuya calidad se desea evaluar, y que no se deteriore, ni se contamine antes de llegar al laboratorio, y, el envase debe ser nuevo; ya que la calidad de los resultados, depende de la integridad de las muestras que ingresan al mismo. La toma de la muestra debe realizarse con sumo cuidado, a fin de garantizar que el resultado analítico represente la composición real de la fuente de origen, y que antes de iniciar el muestreo se debe consultar al laboratorio sobre las condiciones en que éste debe desarrollarse y la información mínima requerida.

a) Material de Campo

Indispensable:

- Envases para el muestreo (rotulados o bien envases y elementos para rotular - cinta o etiqueta autoadhesiva y fibra indeleble)
- Planillas de registro, cuaderno y lápiz.
- GPS de frecuencia simple

Opcional: De ser necesario (según objetivo y condiciones del muestreo):

- Conservadora con hielo o refrigerantes.
- Gotero o elementos para incorporar soluciones conservantes a las muestras que lo requieran.
- Jabalina o dispositivo necesario para la toma de la muestra.

De ser posible:

- Medidor de pH portátil.
- Conductivímetro portátil.
- Termómetro.
- Agua destilada para la limpieza de los electrodos y sondas.

b) Envase

Según los análisis que vayan a realizarse se definirá el tipo de envase a utilizar. El mismo estará en función de la cantidad de muestra a tomar y de la necesidad de dejar (en análisis microbiológicos) o no (en la mayoría de los análisis) una cámara de aire, o un espacio para mezclas o para el agregado de algún reactivo que permita la conservación de la muestra.

En el caso de que las muestras deban ser transportadas, debe dejarse un espacio del 1% de la capacidad del envase para permitir la variación de volumen debida a diferencia térmica.

Para análisis físico-químico se utilizarán envases de plástico o vidrio, con buen cierre y nuevos.

En caso excepcional, se puede reutilizar un envase, para el efecto deben desestimarse envases que hayan contenido agua contaminada, combustibles, soluciones concentradas, etc.; únicamente podrían reutilizarse envases de agua o envases de gaseosa muy bien lavados, especialmente aquellos en base a cola (por el ácido fosfórico).

En todos los casos debe asegurarse que el envase se encuentre limpio, pero debe prestarse especial atención a no lavarlo con detergentes, hipoclorito de sodio (lavandina) u otros reactivos, el envase sólo puede ser enjuagado con agua. De todas maneras, se trate de un envase nuevo o reutilizado, previo a la toma de la muestra, deberá enjuagarse por lo menos tres veces con el agua a muestrear.

La cantidad de muestra necesaria para un análisis físico-químico es de aproximadamente 1,000 ml (1 litro) como mínimo. Si fuera necesario muestrear para algún análisis que requiriera del agregado de un reactivo específico para la conservación de la muestra, deberá preverse la toma en envases adicionales de menor capacidad.

En caso de no satisfacer los requisitos antes mencionados, las muestras serán rechazadas.

c) **Procedimiento**

- **Identificación del sitio de la toma de muestra:**
Debe hacerse de manera unívoca. Para la ubicación se puede utilizar un GPS de frecuencia simple con precisión de 1 a 3 m en post-proceso, de lo contrario especificar el lugar de la manera más concreta posible.

- **Información requerida:**
Al momento de muestreo es necesario recabar, como mínimo, la siguiente información:

  - ✓ Identificación unívoca de la muestra (nombre, código, etc.)
  - ✓ Identificación del sitio de muestreo (georeferenciación: latitud, longitud)
  - ✓ Tipo de fuente y características de la misma (pozo, perforación, canal, río, represa, profundidad del nivel estático y total si fuera pozo o perforación, diámetro de la perforación o pozo, cercanía a pozos negros o industrias, existencia de pozos abandonados, etc.)
  - ✓ Destino (riego, etc.).
  - ✓ Información acerca del Establecimiento y nombre del Propietario o Encargado (con datos de dirección, e-mail y/o teléfono) donde se ha muestreado e información adicional acerca de problemas que detecta el personal que puede atribuirse al agua, volumen diario que se extrae normalmente o algún dato indirecto que permita el cálculo (capacidad o volumen de la cisterna, altura de llenado). .
  - ✓ Condiciones de muestreo (fecha y hora).
  - ✓ Nombre de quien realizó el muestreo.
  - ✓ Tipo de análisis a efectuar (físico-químico)
  - ✓ Reactivo empleado para su preservación, en caso de ser utilizado.
  - ✓ Cualquier otra observación que se considere de importancia.
  - ✓ De ser posible, pH, Conductividad Eléctrica, Temperatura del agua al momento de la toma.

  Toda esta información se registrará en una planilla prevista al efecto, la que deberá completarse en el momento del muestreo.

- **Rotulado de las muestras:**
Es conveniente rotular los envases antes de iniciar el muestreo, ya que se cuenta con mejores condiciones de higiene. Es fundamental asegurarse que el rótulo sea seguro (que no se borre, se pierda o se destruya durante el traslado de la muestra); que la identificación sea unívoca, para que no se confundan o se pierda la trazabilidad de las muestras; y que sea lo más sencilla posible (recordar que toda la información requerida se volcará en la Planilla de Registro).

- **Toma de muestra para análisis físico-químico**
Precauciones para la toma de la muestra en función de su origen.

  Las muestras de agua pueden provenir de fuentes superficiales (ríos, arroyos, canales, represas, lagos) o subterráneas (pozos, perforaciones) y este aspecto definirá las condiciones de muestreo.

En función de la fuente que se vaya a muestrear, y para asegurar que la muestra sea lo más representativa posible del total, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Cualquiera sea la fuente de agua, previo a la toma de la muestra, se enjuagará el envase por lo menos 2 a 3 veces con el agua a muestrear.
- ✓ Agua de red, para la toma de una muestra de agua de red se abrirá el grifo o canilla y se dejará que el agua corra el tiempo suficiente de manera de tener purgada toda la cañería que llega desde el tanque.
- ✓ El ramal donde se encuentre el grifo debe ser el principal, proveniente de la red, y no debe estar conectado en el trayecto con otras cañerías, filtros, ablandadores u otros artefactos que puedan alterar la calidad del agua del ramal principal.
- ✓ También se debe tomar la precaución de retirar del grifo o boca de salida las mangueras u otros accesorios, y de limpiarlo tratando de eliminar sustancias acumuladas en el orificio interno de salida del agua y en el reborde externo, dejando correr agua libremente para arrastrar cualquier residuo.

d) Agua de Perforaciones o Pozos

La muestra se debe tomar de la cañería inmediata al pozo y es conveniente que, antes de proceder a la toma de la muestra, la impulsión se mantenga en marcha el tiempo suficiente que contemple la profundidad del o de los acuíferos, hasta que el agua emerja clara (sin sedimentos ni restos vegetales) y que sea del acuífero. Se debe prestar especial atención a esto si el pozo estuviera en desuso.

En pozos es importante extraer el agua hasta que se esté seguro que el agua es el del acuífero y no mezclada con la superficial y sin impurezas vegetales o de animales (estas cosas invalidan totalmente el análisis posterior).

No se debe permitir el traslado ni recepción de muestras con olor, producto de materia orgánica en descomposición. Estas muestras no son representativas y se descartarán automáticamente.

Si el pozo fuera nuevo se debe bombear el tiempo suficiente hasta que salga agua limpia, de manera de muestrear el agua del acuífero y en lo posible bombear con caudal de diseño, es decir, el caudal máximo que la perforación o pozo puede brindar con nivel dinámico estable.

e) Agua superficial proveniente de un curso de agua en movimiento (río, arroyo, canal, etc.)

Debe ponerse especial atención en buscar puntos estratégicos de muestreo (puentes, alcantarillas, botes, muelles), ya que se debe muestrear de sitios donde el agua se encuentre en circulación. Nunca es recomendable muestrear desde donde se encuentra estancada.

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL - DGCyF - MTC
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B° S

Si se tratara de muestreos periódicos o de control debe tratar de extraerse la muestra siempre en el mismo lugar. Cuando no es posible tomar la muestra directamente con la mano, debe atarse al frasco un sobrepeso usando el extremo de un cordel limpio o en su caso equipo muestreador comercial.

f) Agua superficial proveniente de un espejo de agua (represa, lago, etc.)

En estos casos, se puede proyectar una jabalina a unos 2 metros de la orilla, para no muestrear del borde, evitando tomar la muestra de la capa superficial o del fondo. Sumergir el frasco en el agua (incorporando un peso) con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, destapar y girar el frasco ligeramente permitiendo el llenado. Retirar el frasco después de que no se observe ascenso de burbujas.

g) Tanques de almacenamiento, cisterna

Tomar la muestra bajando el frasco dentro del pozo hasta una profundidad de 15 a 30 cm. Desde la superficie libre del líquido, evitando en todo momento tocar las paredes del pozo. Cuando no es posible tomar la muestra directamente con la mano, debe atarse al frasco un sobrepeso usando el extremo de un cordel limpio o en su caso equipo muestreador comercial.

h) Pasos prácticos para la toma de la muestra para análisis físico-químico

1) Si el envase está rotulado verificar que sea el correcto.
2) Que el envase tenga una capacidad de por lo menos 1 litro.
3) Enjuagar 2 a 3 veces con la fuente de agua que se va a muestrear, desechando el agua de enjuague.
4) Recoger la muestra sin dejar cámara de aire. Se puede dejar un mínimo sin llenar que permita la variación de volumen debida a potenciales diferencias térmicas. Si se le va a agregar algún conservante contemplar el volumen necesario para el mismo.
5) Cerrar el envase asegurando su cierre hermético.
6) Si no estaba rotulada la botella roturarla con tinta indeleble. Siempre tener papel y cinta adhesiva para emergencias o muestras no planificadas.
7) Guardar la muestra en lugar fresco (interior de un vehículo) o en conservadora si fuera necesario y llevarla al Laboratorio en el menor tiempo posible (se recomienda como tiempo máximo de entrega a Laboratorio de 4 días).

i) Acondicionado y Transporte de la Muestra

Para análisis físico-químicos

El acondicionamiento de las muestras dependerá del objetivo del muestreo.

En general, puede ser necesario acondicionarlas con conservadores de frío, ya que algunas especies químicas (nitratos, nitritos y en menor medida los sulfatos) pueden sufrir transformaciones por acción

microbiana. También deben mantenerse al resguardo de la luz, procurando enviarlas lo más rápido posible al laboratorio.

Una buena opción, si no se dispone de conservadora con hielo, es tener las muestras en el interior de los vehículos con aire acondicionado hasta que se las lleva al Laboratorio o a algún medio de refrigeración adecuado (heladera).

Si no se refrigera puede haber variación del pH por alteración de CO_3 = y CO_3H-. No es significativa si hay poca materia orgánica.

5.5.3 Ensayos de Laboratorio

Se efectuarán ensayos químicos para determinar su calidad para su uso en obra, los requisitos de calidad para el agua, serán los estipulados en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras del MTC, vigente:

a) Afirmado, Subbase, Base granular y Mezclas

- Contenido de sulfatos NTP 339.088, ASTM D516
- Contenido de cloruros NTP 339.088, ASTM D512
- Sólidos en suspensión NTP 339.088, ASTM D5907
- Materia Orgánica NTP 339.088, NTP 339.072

b) Concreto Hidráulico

- Contenido de sulfatos NTP 339.088, NTP 339.074, ASTM D516, MTC E 716.
- Contenido de cloruros NTP 339.088, NTP 339.076, ASTM D512, MTC E 716.
- pH NTP 339.088, NTP 339.073, ASTM D5907, MTC E 716.
- Sólidos en suspensión NTP 339.088, ASTM D5907, MTC E 716.
- Materia Orgánica NTP 339.088, NTP 339.072, MTC E 716.
- Alcalinidad

c) Para suelos estabilizados con cal con cemento Portland y suelos estabilizados con compuesto multienzimaticos orgánicos

- Contenido de sulfatos NTP 339.088, ASTM D516.
- Contenido de cloruros NTP 339.088, ASTM D512.
- ph NTP 339.088 ASTM D-1293.
- Sólidos en suspensión NTP 339.088, ASTM D5907.
- Materia Orgánica NTP 339.088, NTP 339.072.
- Alcalinidad

d) Mortero Asfáltico o Lechada asfáltica

- Contenido de sulfatos NTP 339.088, ASTM D516
- Contenido de cloruros NTP 339.088, ASTM D512
- ph NTP 339.088 ASTM D-1293
- Sólidos en suspensión NTP 339.088, ASTM D5907
- Materia Orgánica NTP 339.088, NTP 339.072
- Alcalinidad



5.6 Instalaciones comerciales de suministro

Las instalaciones para el suministro de los materiales a la obra deben respetar los aspectos ambientales y de seguridad industrial.

5.7 Informe, diagrama de cantera, fuentes de agua e instalaciones de suministro

El informe geotécnico de canteras – fuentes de materiales debe incluir, al menos, la siguiente información:

- Ubicación y Potencia de la cantera.
- Condiciones de explotación, tales como nivel freático, accesos, pendientes, taludes.
- Características principales de los materiales que puedan obtenerse.
- Características y propiedades de los materiales para definir su aptitud como agregados para; rellenos, subbases, bases, tratamientos superficiales, carpetas asfálticas y obras de concreto hidráulico, etc.
- Rendimientos por tipo de uso, limitaciones o condicionantes constructivas que puedan restringir su uso (por ejemplo, condiciones de humedad, sobre tamaño, etc.)
- Propiedad y disponibilidad de uso de la cantera o fuente de materiales.
- Ubicación de las fuentes de agua y su calidad para ser usada en la obra.

Además, se presentará un plano de canteras y fuentes de agua en la cual se detallarán en forma completa y resumida:

- Ubicación de las canteras y fuentes de agua, con relación al eje de la vía en construcción o existente, señalando zonas favorables para acopio de materiales o instalación de plantas de procesamiento, vías de acceso, transitabilidad y distancia de transporte hasta la carretera, indicando el Kilometraje del punto de empalme. La ubicación de las canteras y fuentes de agua, estarán referidas al sistema de coordenadas del proyecto vial.
- Ubicación de los sondajes, que deben ser siempre referidos al sistema de coordenadas del proyecto vial, y se hará en base a puntos fijos identificados en el terreno.
- Resultados de las investigaciones de campo y laboratorio
- Características de los agregados, usos, potencia, rendimiento, tratamiento, periodo, equipo de explotación y propietario, posibilidad de ubicación de plantas de procesamiento de materiales.
- Perfiles edafológicos, con los cuales podrá efectuarse la cuantificación o cubicación de los diversos materiales. Asimismo en estos perfiles, se señalaran los espesores de materiales inapropiados que deben ser eliminados y las secciones reservadas para la extracción de ciertos tipos de agregados.



DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

FICHA DE INVENTARIO DE CANTERAS

DENOMINACIÓN DE CANTERA: --

DEPARTAMENTO -------------------- **CÓDIGO:** --------------------

LOCALIZACIÓN
CARRETERA: ------------------------
TRAMO: ------------------------
KM o REFERENCIA: ------------------------
LADO: ------------------------
DISTANCIA AL EJE o REFERENCIA ------------

Ubicación de Cantera (Con coordenadas UTM-WGS84).

ACCESO	
PAVIMENTO:	☐
AFIRMADO:	☐
TROCHA:	☐
SENDERO:	☐
SIN ACCESO	☐

PROPIEDAD	
PRIVADA:	☐
PÚBLICA:	☐
MTC:	☐

TIPO DE CANTERA	-	FORMACIÓN ROCOSA		☐	GRUPO: ------------	
		(Las características indicadas posteriormente corresponden al material triturado)				
	-	DEPÓSITO:	ALUVIAL	☐	PLAYA PERMANENTE	☐
			PLUV. ANTIGUO	☐	PLAYA ESTACIONAL	☐

CARACTERÍSTICA DEL MATERIAL

SOLO AGREGADO	
CLASIFICACIÓN AASHTO	------------
CLASIFICACIÓN SUCS:	------------
TAMAÑO MÁXIMO	------------
PORCENTAJE MAYOR 1 ½"	------------ %
PORCENTAJE MAYOR ¼"	------------ %
PORCENTAJE PASA # 200:	------------ %
LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D4318):	------------ %
LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318):	------------ %
ÍNDICE PLÁSTICO (ASTM D4318)	------------ %
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (ASTM D4791)	------------ %

FRACCIÓN	GRUESA	FINA
PESO ESPECÍFICO (ASTM C 128):		
ABSORCIÓN (ASTM C128):		
DURABILIDAD (MTC-E209):		
PESO UNITARIO (ASTM C29):		

ABRASIÓN (LOS ÁNGELES) (ASTM C131):	------------ %
RECUBRIMIENTO CON ASFALTO (ADHERENCIA):	------------
EQUIVALENTE ARENA (ASTM D2419) :	------------ %
RIEDEL – WEBER (%)	------------
SALES SOLUBLES AGREGADO GRUESO (ppm)	------------
SALES SOLUBLES INTEGRAL (ppm)	------------

CARACTERÍSTICA DEL MATERIAL	
CBR al 95% (ASTM D1883) ----------	IMPUREZAS ORGÁNICAS INTEGRAL (ASTM C40) (ppm) ----------
REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO ----------	TERRONES DE ARCILLA AGREGADO FINO ----------
N° DE MUESTRAS TOMADAS ----------	CARAS FRACTURADAS (ASTM D5821) ----------
N° DE SONDAJES EJECUTADOS ----------	**EXAMEN PETROGRÁFICO**
FORMA: REDONDEADA: ☐	MATERIAL PERJUDICIAL (%) ----------
SUBREDONDEADA: ☐	MATERIAL DEFICIENTE BLANDO (%) ----------
SUBANGULOSA: ☐	MATERIAL DEFICIENTE SEMIDURO Y/O TOTAL INAPTOS (%) ----------
ANGULOSA: ☐	

POTENCIA DE CANTERA	EXPLOTACIÓN	
ÁREA APROVECHABLE: ----------	EN EXPLOTACIÓN: ☐	CON EXPLOSIVOS: ☐
VOLUMEN APROVECHABLE: ----------	EN RESERVA: ☐	SIN EXPLOSIVOS: ☐
RECUBRIMIENTO: ----------	AGOTADA: ☐	PÚBLICA: ☐
RENDIMIENTO ESTIMADO: ----------	PESO POR m³:	
FECHA RELEVAMIENTO:	OBSERVACIONES: ----------	

POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN

	CAPA	RELLENO	SUBBASE	BASE	MEZCLA ASFÁLTICA	CONCRETO
PROCESAMIENTO	EXTRAC. DIRECTA					
	ZARANDEADO					
	CHANCADO					
	CHANCADO Y ZARANDEO					
	LAVADO					
	FILLER					
	ADITIVO					
	SECADO					
	MEZCLA					
DOSAJE O RENDIMIENTO						
ENSAYOS	DENSIDAD MÁXIMA					
	HUMEDAD ÓPTIMA					
	CBR					
	OTROS					

OBSERVACIONES:

CAPÍTULO VI

TRAFICO VIAL





TRÁFICO VIAL

6.1 Conocimento de la demanda para estudios

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el Ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino.

En lo que corresponde a la Sección de Suelos y Pavimentos de este manual, la necesidad de información del tráfico se define desde dos puntos de vista: el diseño estructural del pavimento y el de la capacidad de los tramos viales para conocer hasta que límites de volúmenes de tráfico puede estimarse crecerá la demanda que afectará a la estructura vial durante el periodo del análisis vial adoptado para un estudio.

El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los Términos de Referencia de cada estudio ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

Para cada uno de los tramos además de la demanda volumétrica actual deberá conocerse la clasificación por tipo de vehículos. El cálculo del IMDA requiere de los índices de variación mensual, información que el MTC dispone y puede proporcionar de los registros continuos que obtiene actualmente en las estaciones existentes de peaje y de pesaje del propio MTC y de las correspondientes a los contratos de concesiones viales. La existencia de esta información es importante para construir una base de datos muy útil, como referencia regional que permitirá reducir los requerimientos de estudios y los costos que actualmente se tienen cuando se realizan estos estudios. Adicionalmente el uso de esta información oficial garantizará una mejor consistencia entre la información obtenida y utilizada para los diversos estudios.

La información directa requerida para los estudios del tráfico en principio y salvo necesidades con objetivos más precisos o distintos, se conformará con muestreos orientados a calcular el IMDA del tramo, empezando por la demanda volumétrica actual de los flujos clasificados por tipos de vehículos en cada sentido de tráfico. La demanda de Carga por Eje, y la presión de los neumáticos en el caso de vehículos pesados (camiones y ómnibus) guardan relación directa con el deterioro del pavimento. Contando con la referencia regional previamente descrita, en términos generales será suficiente realizar las nuevas investigaciones puntuales por tramo en sólo dos días, teniendo en cuenta que el tráfico esté bajo condición normal. Uno de los días corresponde a un día laborable típico y el otro a un día sábado. Los términos de referencia del estudio deberán precisar si el caso amerita estudiar durante más días o en periodos climáticos distintos, dependiendo del conocimiento previo de la demanda que tenga la Autoridad Competente.

Simultáneamente se realizará un control mediante una muestra representativa aleatoria de pesos por eje de vehículos pesados, utilizando

equipo portátil calibrado oficialmente que alcance un número superior al 30% de los vehículos pesados del día, cuidando de la calidad de la muestra para evitar cualquier sesgo particular que la invalide.

En los casos en que hubiera una fuente de información continua, precisa o que los flujos fueran muy pequeños, deberá justificarse adecuadamente la elección del tamaño de la muestra.

Demanda Proyectada

La información levantada servirá de un lado como base para el estudio de la proyección de la demanda para el periodo de análisis; y en este contexto, para establecer el número de Ejes Equivalentes (EE) de diseño para el pavimento. El Ingeniero Responsable deberá sustentar si hay razones para establecer que el crecimiento de la demanda seguirá una tendencia histórica identificable con información previa existente o si ésta será modificada por factores socio-económicos, acompañando el análisis justificatorio.

6.2 Factor direccional y factor carril

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

El factor de distribución carril expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril.

El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera, según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD (ver **Cuadro 6.1**).





Cuadro 6.1
Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

6.3 Cálculo de tasas de crecimiento y proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula de progresión geométrica por separado para el componente del tránsito de vehículos de pasajeros y para el componente del tránsito de vehículos de carga.

$$Tn = To\ (1+r)^{n-1}$$

En la que:

Tn = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día

To = Tránsito actual (año base o) en veh/día

n = Número de años del período de diseño

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito.

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%.

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos, por implementarse con certeza a corto plazo en la zona del camino.

La proyección de la demanda puede también dividirse en dos componentes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa anual de crecimiento de la población y una proyección de la demanda de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a la Región, que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

El siguiente cuadro proporciona el criterio para seleccionar el Factor de Crecimiento Acumulado (Fca) para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento (r) y el periodo de análisis en años.

Cuadro 6.2
Factores de Crecimiento Acumulado (Fca)
Para el Cálculo de Número de Repeticiones de EE

Periodo de Análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	3.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Fuente: Tabla D-20 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Factor Fca = $\frac{(1+r)^n - 1}{r}$

Donde:

r = Tasa anual de crecimiento

n = Periodo de diseño

Ejemplo. $Factor = \frac{(1+0.05)^{10} - 1}{0.05}$ 12.58

r = Tasa anual de crecimiento 5%

n = Periodo de diseño 10 años





6.4 Número de repeticiones de ejes equivalentes

Para el diseño de pavimento, la demanda que corresponde al tráfico pesado de ómnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia.

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 $lbs/pulg^2$. Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.

En la Figura 6.1 se presenta la configuración de ejes siguiente:

Figura 6.1
Configuración de Ejes

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	N° de Neumáticos	Grafico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota :
RS : Rueda Simple
RD: Rueda Doble

Para el cálculo de los EE, se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93, para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento:

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL · DGCyF · MTC
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES · DGCyF · V°B°

Cuadro 6.3
Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8.2\ tn}$)
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93

Cuadro 6.4
Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Pavimentos Rígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8.2\ tn}$)
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 13.0]^{4.1}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 13.3]^{4.1}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 16.6]^{4.0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 17.5]^{4.0}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93

Para el diseño de un pavimento se adopta el número proyectado de EE que circularán por el "carril de diseño", durante el periodo de análisis. El carril de diseño corresponderá al carril identificado como el más cargado de la carretera y el resultado de este cálculo será adoptado para todos los carriles de la sección vial típica de esa carretera, por tramos de demanda homogénea.

Para definir la demanda sobre el carril de diseño se analizará el tipo de sección transversal operativa de la carretera, el número de calzadas vehiculares y la distribución de la carga sobre cada carril que conforma la calzada.

La medición de la demanda, estará basada en muestreos significativos del tránsito cuando no se cuenta con estaciones de pesaje que pueden generar censos de cargas por tipo de ejes. La investigación más extendida en la práctica del Perú, se orienta a la estratificación muestral de la carga por tipo de vehículo. Para ello la muestra del tráfico usuario se concentra en el tráfico pesado con la finalidad de obtener una información detallada promedio, pesando la carga real por tipo de vehículo muestreado, por tipo de ejes que lo conforman y por carga efectiva que lleva el eje. De esta manera con las mediciones obtenidas por tipo de vehículos pesados se calculará el factor vehículo pesado de cada uno de los tipos de vehículos del camino, este factor

resulta del promedio de EE que caracteriza cada tipo de vehículo pesado identificado para el camino.

El Factor Vehículo Pesado (Fvp), se define como el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo la sumatoria de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado. El cálculo de factores de EE se efectuará utilizando las cargas reales por eje de los vehículos pesados encuestados en el censo de cargas.

A continuación se presentan unos ejemplos para determinar el Factor de Vehículo Pesado para diversas clases de vehículos pesados.

Cuadro 6.4.a
Computo del Factor de Vehículos Pesados según ejemplo Guia AASHTO - 93

Rango de Cargas por Eje (Toneladas)	Cantidad de Ejes Pesados en Balanza para 165 Vehículos Pesados	Factor de Equivalencia por Eje (EE Por Eje)	EE (Ejes Equivalentes)
Eje Simple			
< 1.4	0	0.0002	0.00
1.4 - 3.2	1	0.005	0.01
3.2 - 3.6	6	0.032	0.19
3.6 - 5.4	144	0.087	12.53
5.4 - 7.3	16	0.360	5.76
7.3 - 13.6	1	5.389	5.39
Eje Tandem			
< 2.7	0	0.010	0.00
2.7 - 5.4	14	0.010	0.14
5.4 - 8.2	21	0.044	0.92
8.2 - 10.9	44	0.148	6.51
10.9 - 11.8	42	0.426	17.89
13.6 - 14.5	44	0.753	33.13
14.5 - 14.8	21	0.885	18.59
14.8 - 15.4	101	1.002	101.20
15.4 - 16.3	43	1.230	52.89
		Sumatoria EE	255.15

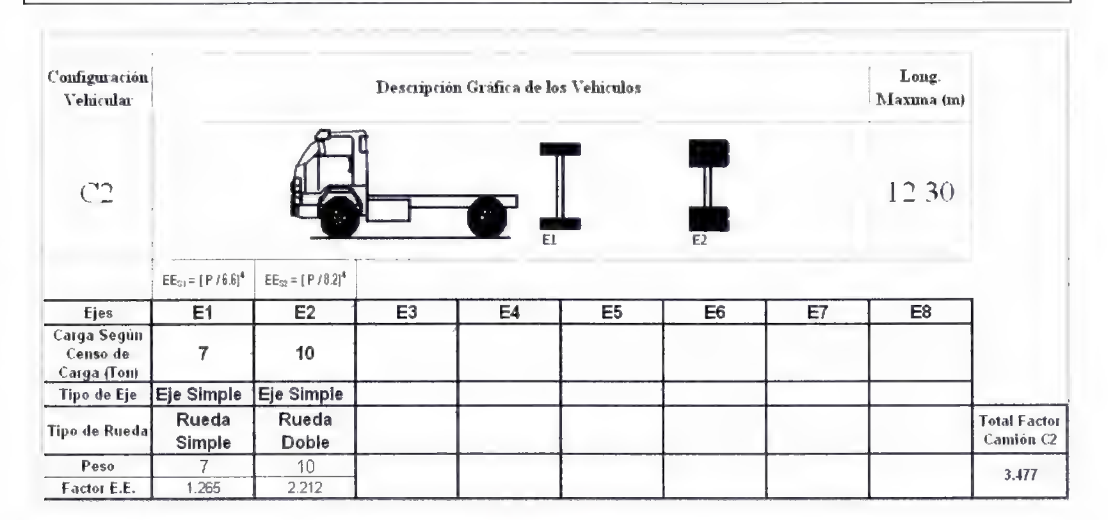
Total de Ejes Equivalentes de 8.2 t para 165 Camiones Pesados en la Balanza = 255 Factor Promedio de Ejes Equivalentes por Vehículo (255/165) = 1.55

En los **Cuadros 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 y 6.12**, para el calculo del Factor Vehículo Pesado (Fvp), las cargas por eje utilizadas solo son validas para el ejemplo desarrollado, en tal sentido, el calculo de dicho factor, debe realizarse utilizando las cargas reales por eje de los vehículos pesados encuestados en el censo de cargas y en concordancia con el Reglamento Nacional de Vehiculos, vigente.



Cuadro 6.5
Ejemplo de Factores de Equivalencia por Eje y Factor Vehículo Camión C2
Pavimento Flexible o Pavimento Semirrígido

En este ejemplo, el peso total del Camión C2 es de 17 tn, pesando el eje delantero (E1) 7 tn y el eje posterior simple (E2) 10 tn. Aplicando las ecuaciones del <u>cuadro 6.3</u> para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el **factor camión C2 es igual a 3.477**



Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos	Long. Maxima (m)
C2		12.30

$EE_{S1} = [P/6.6]^4$ $EE_{S2} = [P/8.2]^4$

Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	10							
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple							
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble							Total Factor Camión C2
Peso	7	10							3.477
Factor E.E.	1.265	2.212							

Cuadro 6.6
Ejemplo de Factores de Equivalencia por Eje y Factor Vehículo Camión C2
Pavimento Rígido

En este ejemplo, el peso total del Camión C2 es de 17 tn, pesando el eje delantero (E1) 7 tn y el eje posterior simple (E2) 10 tn. Aplicando las ecuaciones del <u>cuadro 6.4</u> para pavimento rígido, el **factor camión C2 es igual a 3.529**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos	Long. Maxima (m)
C2		12.30

$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.1}$ $EE_{S2} = [P/8.2]^{4.1}$

Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	10							
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple							
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble							Total Factor Camion C2
Peso	7	10							3.529
Factor E.E.	1.273	2.256							



Cuadro 6.7
Ejemplo de Factores de Equivalencia por Eje y Factor Vehículo Camión C3
Pavimento Flexible o Pavimento Semirrígido

En este ejemplo, el peso total del Camión C3 es de 23 tn, pesando el eje delantero (E1) 7 tn y el eje posterior tandem (E2+E3) 16tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.3 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el factor vehículo **camión C3 es igual a 2.526**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)	
C3	E1	E2	E3					13.20	
	$EE_{S1} = [P/6.6]^4$	$EE_{TA} = [P/15.1]^4$							
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	8						
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	16							
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem							
Tipos de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble							Total Factor Camión C3
Peso	7	16							2.526
Factor E.E.	1.265	1.261							

Cuadro 6.8
Ejemplo de Factores de Equivalencia por Eje y Factor Vehículo Camión C3
Pavimento Rígido

En este ejemplo, el peso total del Camión C3 es de 23 tn, pesando el eje delantero (E1) 7 tn y el eje posterior tandem (E2+E3) 16 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.4 para pavimento rígido, el factor vehículo **camión C3 es igual a 3.406**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)	
C3	E1	E2	E3					13.20	
	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.1}$	$EE_{TA} = [P/13.3]^{4.1}$							
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	8						
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	16							
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem							
Tipos de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble							Total Factor Camión C3
Peso	7	16							3.406
Factor E.E.	1.273	2.134							



Cuadro 6.9
Ejemplo de Factores de Equivalencia por Eje y Factor Vehículo Camión T3S3
Pavimento Flexible o Pavimento Semirrígido

En este ejemplo, el peso total del Camión T3S3 es de 46tn, pesando el eje delantero (E1) 7 tn, el eje posterior tandem (E2+E3) 16 tn y el tridem (E4+E5+E6) 23 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.3 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el factor vehículo **camión T3S3 es igual a 3.758**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)	
T3S3								20.50	
	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4}$	$EE_{TA} = [P/15.1]^{4}$		$EE_{TR} = [P/21.8]^{3.9}$					
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	8	7	8	8			
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	16		23					
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem		Eje Tridem					
Tipos de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble		Rueda Doble					Total Factor Camión T3S3
Peso	7	16		23					3.758
Factor E.E.	1.266	1.261		1.232					

Cuadro 6.10
Ejemplo de Factores de Equivalencia por Eje y Factor Vehículo Camión T3S3
Pavimento Rígido

En este ejemplo, el peso total del Camión T3S3 es de 46 tn, pesando el eje delantero (E1) 7 tn, el eje posterior tandem (E2+E3) 16 tn y el tridem (E4+E5+E6) 23 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.4 para pavimento rígido, el factor vehículo **camión T3S3 es igual a 6.390**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)	
T3S3								20.50	
	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.1}$	$EE_{TA} = [P/13.3]^{4.1}$		$EE_{TR} = [P/17.5]^{4.0}$					
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	8	7	8	8			
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	16		23					
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem		Eje Tridem					
Tipos de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble		Rueda Doble					Total Factor Camión T3S3
Peso	7	16		23					6.390
Factor E.E.	1.273	2.134		2.984					

Cuadro 6.11
Ejemplo de Factores de Equivalencia por Eje y Factor Vehículo Bus B3-1
Pavimento Flexible o Pavimento Semirrígido

En este ejemplo, el peso total del Bus B3-1 es de 22 tn, pesando el eje delantero (E1) 7 tn y el eje posterior tandem (E2+E3) 15 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.3 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el factor **vehículo Bus B3-1 es igual a 2.321**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)	
B3-1	E1 E2 E3							14.00	
	$EE_{S1} = [P/6.6]^4$	$EE_{TA} = [P/14.8]^4$							
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	7						
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	15							
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem							
Tipos de Rueda	Rueda Simple	1 Eje Rueda Doble+1 Eje Rueda Simple							Total Factor Camión B3-1
Peso	7	15							2.321
Factor E.E.	1.265	1.055							

Cuadro 6.12
Ejemplo de Factores de Equivalencia por Eje y Factor Vehículo Bus B3-1
Pavimento Rígido

En este ejemplo, el peso total del Bus B3-1 es de 22tn, pesando el eje delantero (E1) 7 tn y el eje posterior tandem (E2+E3) 15 tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.4 para pavimento rígido, el factor **vehículo Bus B3-1 es igual a 3.071**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)	
B3-1	E1 E2 E3							14.00	
	$EE_{S1} = [P/6.6]^{4.1}$	$EE_{TA} = [P/13.0]^{4.1}$							
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	7						
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	15							
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem							
Tipos de Rueda	Rueda Simple	1 Eje Rueda Doble+1 Eje Rueda Simple							Total Factor Camión B3-1
Peso	7	15							3.071
Factor E.E.	1.273	1.798							

El Ingeniero Responsable para los pavimentos flexibles y semirrígidos tomará en cuenta, para el cálculo de EE, un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que producen las presiones de los neumáticos sobre el pavimento flexible o semirrígido. Para el caso de afirmados y pavimentos rígidos el factor de ajuste por presión de neumáticos será igual 1.0.

Para la determinación de los factores de presión de neumáticos se utilizarán los valores del **Cuadro 6.13**, valores intermedios podrán interpolarse. Los valores del **Cuadro 6.13** han sido obtenidos de correlacionar los valores de la Figura IV-4 EAL Adjusment Factor for Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto, modificando la presión inicial de 70 psi que indica la mencionada figura por la presión inicial de 80 psi considerada para efectos de este Manual.

Cuadro 6.13

FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO (F_P) PARA EJES EQUIVALENTES (EE)

Espeso de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contaco del Neumático (PCN) en psc PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumatico] (pai)						
	80	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Nota:

- EE – Ejes Equivalentes
- Presión de inflado del neumático (Pin): esta referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión de Contacto del neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículos pesado.
- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el factor de ajuste igual al espesor de 50 mm

Fuente: Elaboración propia, en base a correlaciones con la figura IV-4 EAL Adjustment Factor for Tire Pressures del Manula MS-1 del Instituto de Asfalto

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados:

$$\text{Nrep de EE}_{8.2\,tn} = \Sigma\,[\text{EE}_{día\text{-}carril} \times \text{Fca} \times 365]$$



Donde:

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8.2t	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
$EE_{dia\text{-}carril}$	**$EE_{dia\text{-}carril}$** = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación: **$EE_{dia\text{-}carril} = IMDp_i \times Fd \times Fc \times Fvp_i \times Fp_i$** donde: $IMDp_i$: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i) Fd: Factor Direccional, según Cuadro N° 6.1. Fc: Factor Carril de diseño, según Cuadro N° 6.1. Fvp_i: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado. Fp: Factor de Presión de neumáticos, según Cuadro N° 6.13.
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 6.2)
365	Número de días del año
Σ	Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

6.5 Clasificacion de número de repeticiones de ejes equivalentes en el periodo de diseño

El tránsito para diseño de pavimentos, en el presente Manual, ha sido clasificado en rangos de Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes, tal como se indica en los Cuadros 6.14 y 6.15.

Para este Manual se determina los siguientes rangos en número de repeticiones de ejes equivalentes, para el carril y periodo de diseño.

6.5.1 Caminos No Pavimentados

Los Caminos No Pavimentados con Afirmado (revestimiento granular) tendrán un rango de aplicación de Número de Repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño de hasta 300,000 EE, de acuerdo al cuadro 6.14.

Cuadro 6.14
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño Para Caminos No Pavimentados

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE
T_{NP1}	≤ 25,000 EE
T_{NP2}	> 25,000 EE ≤ 75,000 EE
T_{NP3}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T_{NP4}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE

Fuente: Elaboración Propia

Nota: T_{NPX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño

NPX = No Pavimentada, X = número de rango (1, 2, 3)



6.5.2 Caminos Pavimentados

Los Caminos Pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, en este Manual están clasificados en quince (15) rangos de Número de Repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño, desde 75,000 EE hasta 30'000,000 EE, de acuerdo al **Cuadro 6.15**.

Cuadro 6.15
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2t, en el Carril de Diseño Para Pavimentos Flexibles, Semirrígidos y Rígidos

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE
T_{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T_{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T_{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T_{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T_{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE
T_{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T_{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T_{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T_{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T_{P9}	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T_{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T_{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T_{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T_{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T_{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE
T_{P15}	> 30'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia
Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño
PX = Pavimentada, X = número de rango (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15)

Los tramos a pavimentar con números de repeticiones de EE mayores a 30'000,000, será materia de Estudio Específico, mediante el cual el Ingeniero Responsable efectuará un análisis técnico de alternativas de pavimento y justificará la solución adoptada.

Los caminos con menor o igual a 1'000,000 EE, se considera como caminos de bajo volumen de tráfico, recomendando un periodo de diseño de 10 años.





CAPÍTULO VII

EL CLIMA





EL CLIMA

7.1 Conceptos de aplicación (fuente AASHTO)

Dos son los factores considerados en esta sección de Suelos y Pavimentos del Manual, que influencian el diseño y comportamiento de los pavimentos: la temperatura y las precipitaciones de lluvia o sus similares como son las precipitaciones de nevadas escasas.

En el territorio peruano se distinguen tres Regiones Naturales: la Costa de clima mediatizado y sin lluvias, la Sierra de temperaturas más marcadas en mínimos y máximos con lluvias moderadas; y la Selva, de naturaleza tropical con temperaturas bastante altas y lluvias muy fuertes. Una subregión en la costa norte es calurosa por ser parte de la zona ecuatorial y en el caso peruano con esporádicas presencias de lluvias tropicales cuando se presenta el Fenómeno del Niño.

7.2 Temperatura

Un criterio muy importante a tenerse en cuenta es que normalmente en los territorios alto-andinos del Perú las temperaturas de los pavimentos en los meses de Junio a Octubre presentan variaciones diarias en rango cercano a 40 grados centígrados y principalmente fenómenos de "heladas" con fuertes radiaciones solares y vientos frígidos.

La temperatura afecta directamente la deformación de la carpeta asfáltica (CA); y las variaciones de temperaturas produce tensiones en la CA. Las temperaturas bajas tienen influencia en la aparición del agrietamiento por fatiga la que se potencia con el ahuellamiento. Por otra parte las temperaturas altas tienen influencia en el ahuellamiento de la CA. En los pavimentos rígidos con diferencias fuertes de temperatura se pueden levantar las esquinas debilitándose hasta su rompimiento.

Los agrietamientos por baja temperatura y por fatiga incrementan los costos de conservación; y el ahuellamiento causa adicionalmente problemas de seguridad relacionado con el patinaje de los vehículos.

En función de las temperaturas regionales distintas debe seleccionarse la aplicación de asfaltos con rangos distintos de penetración, tal como se indica en el cuadro que se presenta a continuación.

Cuadro 7.1
Selección del tipo de cemento asfaltico

Temperatura Media Anual			
24ºC o más	24ºC – 15ºC	15ºC – 5ºC	Menos de 5ºC
40-50 ó 60-70 ó modificado	60-70 (*)	85-100 120-150 (*)	Asfalto Modificado

(*) Tomar en cuenta lo establecido en Manual de Carreteras: Especificaciones Tecnicas Generales Para Construcción, vigente.

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL · DGCyF - MTC
V°B° DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

7.3 Las precipitaciones de lluvias

7.3.1 Las lluvias afectan fuertemente los requerimientos del diseño de las capas granulares y del diseño de los pavimentos, sea directamente por su presencia superficial sobre la superficie del camino y su percolación hacia el interior del pavimento, o sea por el efecto originado por la presencia de aguas cercanas al camino en lagunas y en corrientes de aguas superficiales y/o subterráneas que elevan el nivel de la napa freática bajo la plataforma del camino y la modifican según corresponda al periodo mensual de las lluvias. Un nivel freático alto cercano a las capas superiores de la sub rasante de diseño del proyecto, pueden desestabilizarlas por el fenómeno de la capilaridad del material utilizado.

7.3.2 La presencia de agua en la superficie del pavimento o en el interior de los materiales que conforman las capas de la estructura de los pavimentos y terraplenes causan cambios en sus propiedades técnicas al interactuar con las otras variables climáticas, como son la temperatura, la radiación solar, el viento y también la presencia temporal de nieves o de "heladas" con situaciones de clima muy riguroso, como se presenta generalmente en los territorios alto andinos del Perú (Mazo Cruz por ejemplo) que deben ser tomadas cuidadosamente en consideración por los ingenieros diseñadores y constructores, principalmente en el cuidado de la carpeta asfáltica para evitar retener agua de la lluvia dentro de la carpeta asfáltica que pueda congelarse y disturbar seriamente su comportamiento, proceso que llevaría junto con la carga del tráfico sobre la carpeta asfáltica a su destrucción acelerada.

El sistema de drenaje de la carretera tiene la finalidad de preservar la infraestructura vial del efecto del agua. Ver capítulo 8.

7.4 Conocimiento del clima

Para el efecto de diseñar las carreteras con la eficiencia necesaria en términos de funcionalidad y de economía, se requiere contar con información suficiente por dos necesidades principales: la estabilidad del pavimento y la estabilidad de los terraplenes y de la plataforma en general.

En el Perú la gestión vial se viene trabajando con información climática nacional producida por el SENAMHI. En general la información requerida por la metodología de diseño tradicional, en cuanto a temperaturas por regiones y/o cuencas y valles, está relativamente bien cubierta; no así en lo relativo a las necesidades más puntuales que se requieren para precisar mejor el diseño de las capacidades de los drenajes y defensas en diversos tramos específicos en los que se presentan requerimientos puntuales frecuentes que deterioran mas significativamente la infraestructura vial impidiendo su uso por algunos días y/o meses mientras se reconstruye el sector vial afectado; como podría ser el caso típico de la subregión costera del Norte.

Sin embargo, esta necesidad viene siendo más conocida e identificable con el mejoramiento y el perfeccionamiento del sistema de conservación vial que se

utiliza en las concesiones viales y contratos de conservación vial que viene practicándose en el Perú, en las que el MTC y el SENAMHI deberán coordinar más los requerimientos de información.

Para el futuro la utilización de las nuevas metodologías de la gestión vial, orientadas hacia el análisis más sofisticado de los materiales que se utilizan en la construcción vial con el objetivo de lograr pavimentos con horizontes de vida a 50 años, requerirá como lo indica AASHTO de la implantación de una sistematización rigurosa de la información del clima, así como del tráfico para cada tramo vial.

Este esfuerzo técnico y económico deberá planificarse cuidadosamente para su implantación progresiva desde lo antes posible por el MTC en coordinación con el SENAMHI.

A continuación a manera referencial se presentan los siguientes gráficos; obtenidos en base a información del SENAMHI.

- Figura 7.1: Mapa Precipitación Total Multianual
- Figura 7.2: Mapa Temperatura Máxima Promedio Multianual (ºC)
- Figura 7.3: Mapa Temperatura Mínima Promedio Multianual (ºC)

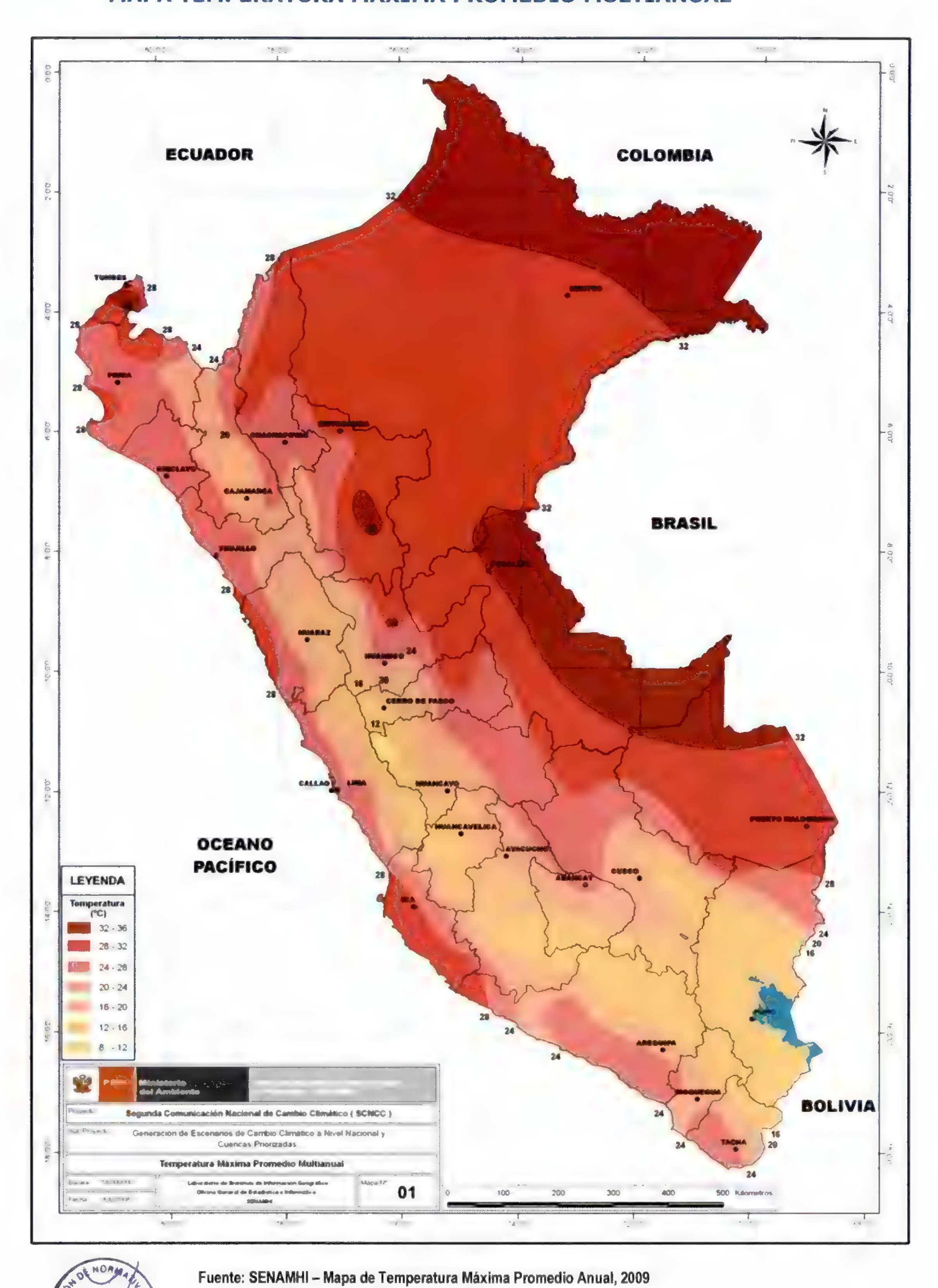



FIGURA 7.1
MAPA PRECIPITACIÓN TOTAL MULTIANUAL

Fuente: SENAMHI – Mapa de Precipitación Total Multianual, 2009



FIGURA 7.2
MAPA TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO MULTIANUAL



Fuente: SENAMHI – Mapa de Temperatura Máxima Promedio Anual, 2009

FIGURA 7.3
MAPA TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO MULTIANUAL

ECUADOR
COLOMBIA
BRASIL
BOLIVIA
OCEANO PACÍFICO

LEYENDA
Temperatura (°C)

24	28
20	24
16	20
12	16
8	12
4	8
0	4
4	0
8	4
12	8
16	12

Ministerio del Ambiente
Segunda Comunicacion Nacional de Cambio Climatico (SCNCC)
Generacion de Escenarios de Cambio Climatico a Nivel Nacional y Cuencas Priorizadas
Temperatura Minima Promedio Multianual
02

Fuente: SENAMHI – Mapa de Temperatura Mínima Promedio MultiAnual, 2009.

CAPÍTULO VIII

DRENAJE





DRENAJE

Los suelos y materiales que conforman los elementos de infraestructura de terraplenes, afirmado y pavimentos de las carreteras tienen como factor disturbante la presencia de agua. Las principales causas de la presencia de agua en las carreteras son las lluvias y las aguas freáticas.

En esta Sección de Suelos y Pavimentos sólo corresponde presentar una descripción básica de los requerimientos del sistema de drenaje que el Ingeniero Responsable deberá tener en cuenta en el diseño para mantener los suelos y materiales comportándose dentro de las condiciones o características de la estabilidad necesaria de las explanaciones, afirmados y pavimentos.

Mayores detalles sobre el diseño de los elementos del Sistema de Drenaje son desarrollados y presentados en el Manual Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

8.1 Funciones principales del sistema de drenaje en las carreteras

En esta sección la identificación de los componentes del Sistema de Drenaje se limita a aquellos elementos de la infraestructura que directamente protegen al pavimento y a la explanada de la penetración del agua y las que permitan su evacuación, para evitar la desestabilización o disgregación de los materiales que los conforman. Así esta identificación es tratada como se explica a continuación.

8.2 Drenaje de aguas superficiales

El agua superficial a controlar es principalmente el agua de lluvia que cae sobre la plataforma del camino.

Los elementos del drenaje son:

i. El bombeo que consiste en la inclinación transversal de superficie del camino para retirar rápidamente el agua precipitada sobre la plataforma hacia un lado o hacia ambos lados según sean las características de la geometría del camino para minimizar el flujo longitudinal, el empozamiento o la percolación del agua hacia el subsuelo.

ii. La cuneta de captación lateral del agua escurrida. Las cunetas generalmente siguen la pendiente de la rasante del camino; y conducen el agua hacia una caja de recolección, en la que es captada para llevarla hacia un curso natural mediante una tubería o conducto rectangular denominado alcantarilla de alivio de la cuneta para que ésta no se rebalse.

iii. Las alcantarillas sirven para conducir el agua atravesando el camino por debajo de la superficie y luego canalizándola hacia cursos de agua existentes.

iv. Forma parte de este sistema de drenaje la característica drenante que debe tener las capas de base y la subbase de los caminos pavimentados y de los afirmados en los caminos no pavimentados. A través de estas

capas se filtra parte del agua de lluvia, la que luego siguiendo la inclinación transversal de la sub rasante será recolectado por las cunetas laterales cuando éstas se encuentran a un nivel más bajo que las indicadas capas; recolección que no es necesaria cuando por debajo de la subbase el material de la sub rasante es permeable y el agua puede drenar percolando verticalmente.

v. En el caso de sectores del camino con cuneta alta revestida y sub rasante impermeable, (ver **figura 8.1b**), donde el revestimiento de la cuneta impide el drenaje lateral de la base y subbase se hace necesario diseñar subdrenes de pavimento para evitar la acumulación del agua infiltrada en estas capas, situación que originaría el rompimiento del pavimento y el brote del agua hacia arriba por acción de las cargas aplicadas sobre el pavimento.

vi. El control de aguas superficiales incluye también dos tipos de zanjas laterales normalmente construidas en el terreno natural como son:
   - Zanja de coronación, que es un canal a construirse en zonas lluviosas para recolectar el agua de lluvia que discurre por la ladera y así evitar un proceso de erosión y arrastre de sólidos hacia la cuneta, de modo que no se produzca la colmatación de estas y la obstrucción de las alcantarillas de alivio.
   - Zanja de recolección, que es un canal a realizarse siguiendo un curso de recolección natural de aguas, en la parte baja del talud de relleno del diseño, para descargar en él, en forma controlada las aguas de las alcantarillas de alivio.

Las **Figuras 8-1a y 8-1b** ilustran el sistema básico de drenaje de aguas superficiales para su aplicación en caminos a construirse.







FIGURA 8-1 a
ESTRUCTURAS DEL DRENAJE SUPERFICIAL
SECCIÓN TIPICA 1 CON PAVIMENTO MAS ALTO QUE LA CUNETA LATERAL

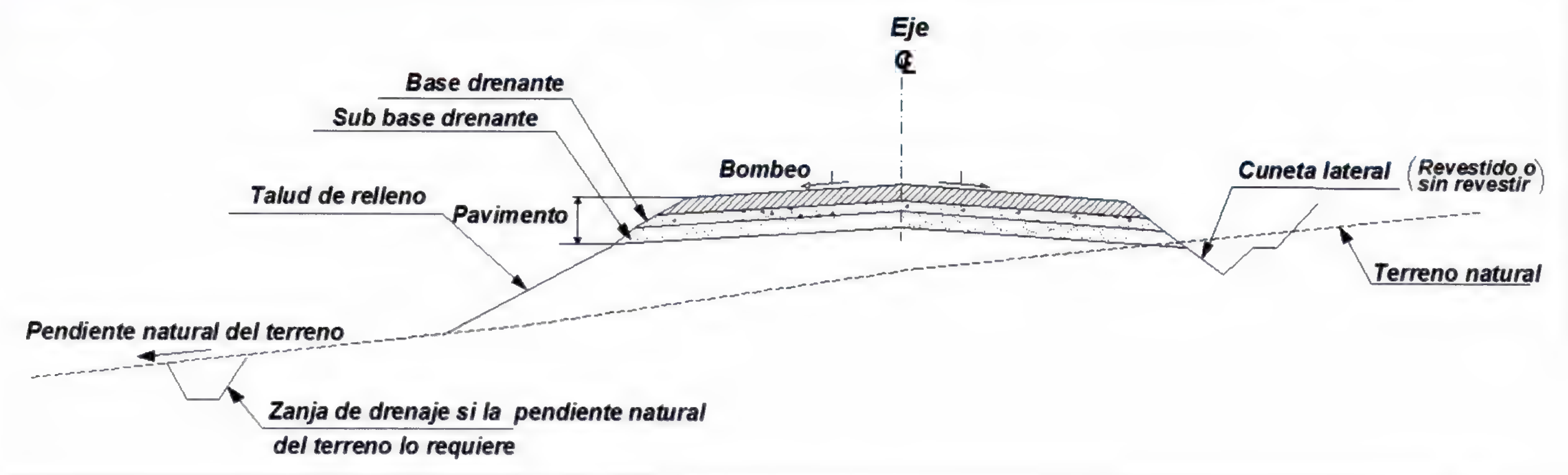






FIGURA 8-1 b
ESTRUCTURAS DEL DRENAJE SUPERFICIAL
SECCIÓN TIPICA 2 CON PAVIMENTO AL MISMO NIVEL DE LA CUNETA LATERAL

Seccion Tipica 2 con pavimento al mismo nivel de la cuneta lateral

Cuneta de coronación revestida
Eje
Carpeta asfaltica
Detalle "A"
Talud de corte
Base drenante
Cuneta lateral
Revertida
Sub Base drenante
Bombeo
Pavimento
Talud de relleno
Subdren de ser necesario
y compactado
Eje
Detalle "A"
Cuneta alta
revestida
Terreno natural
i
i
Talud de
corte
Carpeta Asfaltica
Base
Sub base
Subrasante impermeable
Relleno seleccionado
y compactado
Subdren ,con ducto
Perforado de 10 cm. de diametro



8.3 Drenaje de aguas subterráneas

Cuando las carreteras se localizan en terrenos con napa freática alta respecto de la sub rasante proyectada del camino, sea por existir depósito natural de aguas cercanas o por corrientes subterráneas de agua; en tales casos será necesario diseñar un sistema de drenaje para deprimir el nivel de la napa freática existente con la finalidad de evitar que el agua afecte la estabilidad de las explanaciones y de la plataforma del camino.

El sistema de drenaje subterráneo puede diseñarse utilizando drenes "tipo francés" a colocarse fuera de la plataforma del camino o subdrenes a localizarse en el interior de los terraplenes del camino. En la **figura 8-2** se ilustra un ejemplo sobre las características y localización de este sistema de drenaje subterráneo.

El Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, contiene el desarrollo detallado de conceptos y parámetros para el diseño del sistema de drenaje para las situaciones que pueden presentarse en un proyecto vial, el mismo que deberá ser utilizado para diseñar el sistema de drenaje, de acuerdo a las características y necesidades técnicas de cada proyecto.





FIGURA 8-2
ESTRUCTURAS DEL DRENAJE SUBTERRANEO

Eje
℄
Nivel de la rasante del proyecto
Subrasante del proyecto
Pavimento
Nivel del Terreno natural
Cuneta Lateral
Sub rasante del proyecto
Terreno natural
Altura de Terraplen
Nivel del Terreno natural
Nivel original de la napa
Corriente de agua subterranea
Nuevo nivel de la napa
Subdren de agua subterranea
Subdren de agua subterranea





FIGURA 8-3
SECCIÓN TIPICA EN ZONA INUNDABLE

Seccion Tipica en zona inundable en vias Terraplen

Eje
Terreno Natrural
Bombeo
Bombeo
Zanja de drenaje
Zanja de drenaje
0.50 MAXIMA

Seccion Tipica en zona inundable en vias A ras del terreno natural

Funcion:

Como cuneta para mantenimiento superficial como subdren para el mantenimiento sub superficial

Eje
Terreno Natrural
Bombeo
Bombeo
Zanja de drenaje
Zanja de drenaje
1.00 MAXIMA



CAPÍTULO IX

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS





ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio cuando se estabiliza una subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc).

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.

El manual ilustra diferentes metodologías de estabilización como: mejoramiento por sustitución de suelos de la sub rasante, estabilización mecánica de suelos, mejoramiento por combinación de suelos, suelos estabilizados con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica, estabilización química del suelo, estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros). Sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos construidos que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible.

9.1 Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

1) Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con CBR ≥ 6%. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el Ingeniero Responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución, como: Estabilización mecánica, Reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, Estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), Pedraplenes, Capas de arena, Elevar la rasante o cambiar el trazo vial sí las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas.

2) Cuando la capa de sub rasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geotextil, según lo justifique el Ingeniero Responsable.

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL DGCF - MTC

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

3) La superficie de la sub rasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una sub rasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una sub rasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una sub rasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una sub rasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

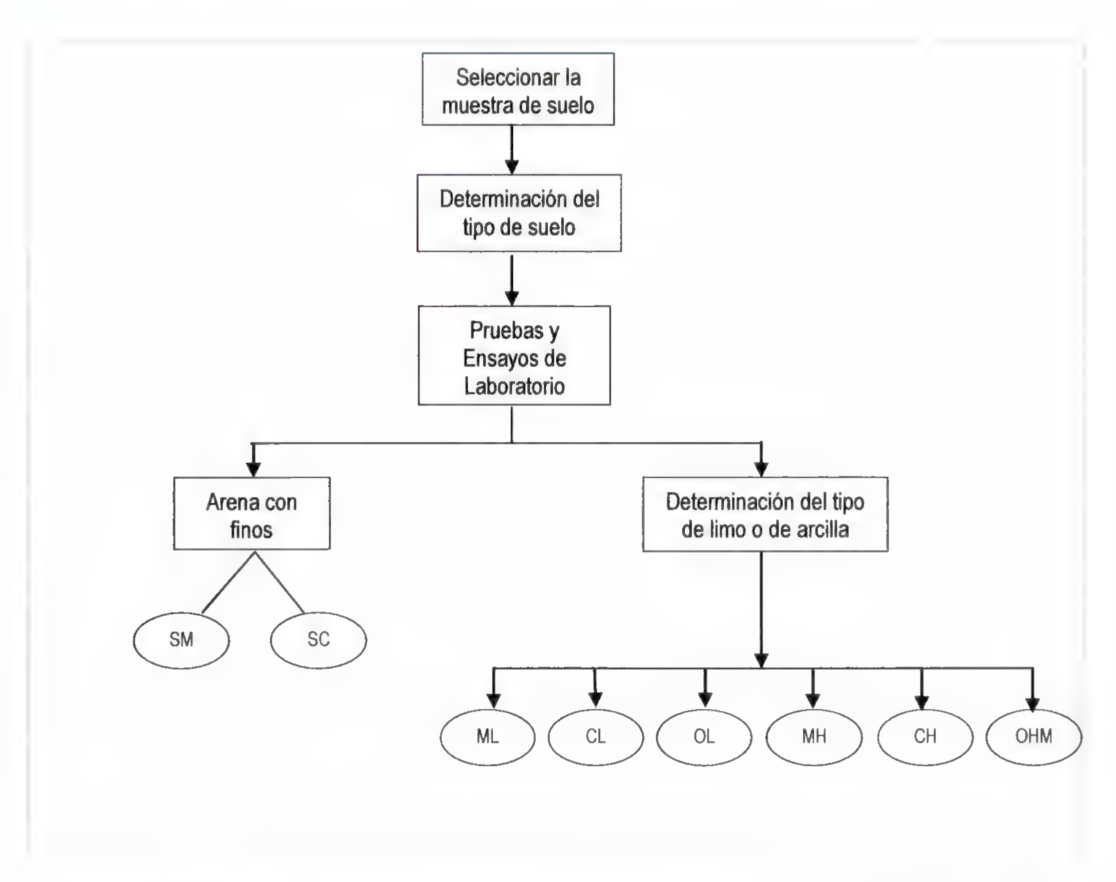
4) En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Sí la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20 m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la sub rasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la sub rasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos. Igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm, con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0.02mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm.

   La curva granulométrica de la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (Nº 200) se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E 109).

5) Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.



Figura 9.1
Proceso para la Identificación del Tipo del suelo



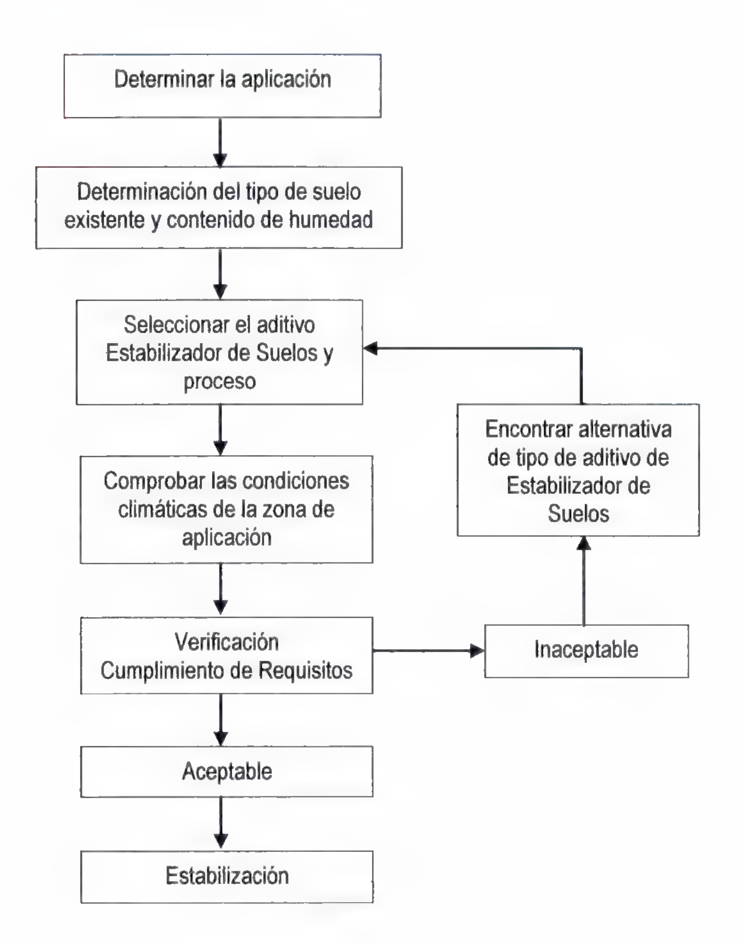
6) Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

a. Tipo de suelo a estabilizar
b. Uso propuesto del suelo estabilizado
c. Tipo de aditivo estabilizador de suelos
d. Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
e. Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
f. Disponibilidad del equipo adecuado
g. Costos comparativos

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización:



Figura 9.2
Proceso de selección del Tipo de Estabilización



7) A continuación se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.





Cuadro 9.1
Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador

Área	Clase de suelo	Tipo de Estabilizador Recomendado		Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Portland			
		(3)	Cal–Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 B	SW - SM o SP - SM o SW - SC o SP – PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 C	SM o SC o SM-SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2)	Cemento Portland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 A	GW o GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla Nº 4.
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2B	GW – GM o GP - GM o GW - GC o GP-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla Nº 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2C	GM o GC o GM - GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla Nº 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Ceniza	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML-CL	(1)	Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP = Índice Plástico (b) IP 20 + (50 – porcentaje que pasa la Malla Nº 200) / 4				Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador		Fuente: US Army Corps of Engineers

Cuadro 9.2
Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Técnicas	Suelo(1)	Dosificación(3)	Curado (Apertura Al Tránsito)(5)	Observaciones
Cemento	**EG-CBT-2008 Sección 306B ASTM C150 AASHTO M85**	A-1,A-2,A-3,A-4,A-5,A-6 y A-7 LL> 40% IP ≥ 18% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO_4^{2}) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO_4 Ca (4) - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO_4 Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	**ASTM D2397 o AASHTO M208**	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO_4^{2}) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO_4 Ca (4) - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO_4 Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	**EG-CBT-2008 Sección 307B AASHTO M216 ASTM C977**	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO_4^{2}) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	**ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109**	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Sulfatos (SO_4^{2}) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	**EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109**	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	**MTC E 1109**	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO (2) < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
Enzimas	**EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109**	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO (2) No debe contener Abrasión < 50% % < N° 200: 10 - 35%	1L / 30-33 m³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO (2) < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Fuente: Estudios Especiales del MTC



(1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8"
Tamaño máximo: 2", debe carecer de restos vegetales
Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto

(2) CMO: Contenido de materia orgánica

(3) Los diseños o dosificaciones deben indicar: fórmula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado

(4) Para altitudes mayores a 3000 msnm

(5) Después de finalizado el proceso de compactación

9.2 Estabilización mecánica de suelos

Con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

9.3 Estabilización por combinación de suelos

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo.

El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de sub rasante fijado en el proyecto.

El suelo de aporte para el mejoramiento se aplicará en los sitios indicados en los documentos del proyecto, en cantidad tal, que se garantice que la mezcla con el suelo existente cumpla las exigencias de la **Sección 207** deL Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente.

9.4 Estabilización por sustitución de los suelos

Cuando se prevea la construcción de la sub rasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición.

En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de sub rasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación.

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL · MTC

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

9.4.1 Procedimiento para determinar el espesor de reemplazo en función al valor soporte o resistencia del suelo

Este procedimiento de cálculo para determinar en sectores localizados, el espesor de material a reemplazar se aplicará solo en casos de sub rasantes pobres, con suelos de plasticidad media, no expansivos y con valores soporte entre CBR ≥ 3% y CBR < 6%, calculándose según lo siguiente:

a) Se calculará el número estructural SN del pavimento para 20 años, el material a emplear tendrá un CBR ≥ 10% e IP menor a 10, o en todo caso será similar. Cuando en los sectores adyacentes al sector de sustitución de suelos presentan un CBR > 10%, para el cálculo del SN se utilizará el mayor valor de CBR de diseño, que representa el material de reemplazo, este número estructural SN calculado se denominará SNm (mejorado), luego se calculará el SN del pavimento para el CBR del material de sub rasante existente (menor a 6%), que se denominará SNe (existente).

b) Se realizará la diferencia algebraica de números estructurales

$$\Delta SN = SNe - SNm$$

c) Habiéndose escogido el material de reemplazo (CBR ≥ 10%) a colocar (según SNm calculado), se obtendrán los valores correspondientes de coeficiente estructural (ai) y coeficiente de drenaje (mi), luego de obtener dichos valores se procederá a obtener el espesor E, aplicando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\Delta SN}{ai \times mi}$$

Siendo:

E : Espesor de reemplazo en cm.

ai : Coeficiente estructural del material a colocar / cm

mi : Coeficiente de drenaje del material a colocar.

d) Espesores recomendados de material a reemplazar.





Cuadro 9.3
Espesores Recomendados para Estabilización por Sustitución de Suelos

3% ≤ CBR ≤ 6%

Tráfico		Espesor de Reemplazo con Material CBR>10% (cm)
0	25 000	25.0
25 001	75 000	30.0
75 001	150 000	30.0
150 001	300 000	35.0
300 001	500 000	40.0
500 001	750 000	40.0
750 001	1 000 000	45.0
1 000 001	1 500 000	55.0
1 500 001	3 000 000	55.0
3 000 001	5 000 000	60.0
5 000 001	7 500 000	60.0
7 500 001	10 000 000	65.0
10 000 001	12 500 000	65.0
12 000 001	15 000 000	65.0
15 000 001	20 000 000	70.0
20 000 001	25 000 000	75.0
25 000 001	30 000 000	75.0

Notas:

1. Coeficiente estructural del material con CBR>10% a_i=0.021
2. Coeficiente drenaje del material a colocar m=1.0







9.5 Suelos estabilizados con cal

El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

La experiencia demuestra que los productos de la hidratación del cemento pueden ser reproducidos combinando dos o más componentes primarios de este producto como: Ca 0, $Si0_2$, Al_2O_3 y FC_2O_3 en las proporciones adecuadas y en presencia de agua.

Como la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminio silicatos, la incorporación de cal anhidra (Ca O) o de cal hidratada ($Ca\ (OH)_2$) y agua en cantidad apropiada se puede obtener la composición deseada.

La Cal que se use para la construcción de Suelo-Cal puede ser Cal viva o hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la **Sección 301.B** deL Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente; la Especificación AASHTO M-216 o ASTM C-977.

Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico, con formación de nuevos productos químicos. La sílice y alúmina de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles.

Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo, es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. Por ejemplo suelos de plasticidad IP < 15, aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP; en cambio, en los suelos de plasticidad con IP > 15) disminuye el IP.

También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos.

Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad.

En cortes e incluso en terraplenes, donde se evidencien suelos arcillosos, resulta conveniente mejorar el suelo con un pequeño porcentaje de cal para proteger la explanación y formar una plataforma para la construcción de la capa de rodadura.

Al mezclar el suelo con cal éste se vuelve más friable y granular. Al aumentar su límite plástico y humedad óptima de compactación permite su puesta en obra con mayor facilidad.

Es frecuente que la mezcla se realice en dos fases, con un período intermedio de reacción de 1 - 2 días. La aplicación más usual de las estabilizaciones con cal es en sub rasantes y como capa de rodadura, en zonas de suelos arcillosos y/o con canteras de materiales granulares lejanos.

La National Lime Association resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en lo siguiente:

i) Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
ii) Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
iii) Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
iv) La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
v) Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
vi) Incremento de la resistencia a la comprensión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
vii) Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
viii) Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
ix) Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

La experiencia americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

a) Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de $Ca(OH)_2$ en peso.
b) Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cal, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cal.

9.6 Suelos estabilizados con cemento

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos.

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media (LL < 40, IP < 18).

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumentan o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

La dosificación de cemento para Suelo Cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

Cuadro 9.4
Rango de Cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A - 1 - a	3 - 5
A - 1 - b	5 - 8
A - 2	5 - 9
A - 3	7 - 11
A - 4	7 - 12
A - 5	8 - 13
A - 6	9 - 15
A - 7	10 - 16

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA)

Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ sea la prescrita y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 y 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A nivel de sub rasante, se exige un grado de compactación mínimo 95% según AASHTO T180 en la capa de afirmado el mínimo es de 100%.

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cemento, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cemento.

9.7 Suelos estabilizados con escoria

Hoy en día las escorias de acería o de otros hornos de fundición se emplean en muchas partes del mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y subbase en los pavimentos, en la estabilización de sub rasantes, en la carpeta asfáltica formando parte del ligante bituminoso; en la agricultura también se ha encontrado aplicación, así como en el tratamiento de aguas residuales. Al emplearse este subproducto en construcción de infraestructura vial se evita

explotar nuevas canteras, manteniendo el paisaje de la zona; como no requiere procesar los agregados se reduce el consumo de energía y combustibles, y se reducen las emisiones de CO_2 al ambiente.

En caso de escasez de finos, se podrá efectuar una mezcla de escoria, arena fina y cal. La cal a utilizar será la indicada en la **Sección 301.B** Suelo Estabilizado con Cal, deL Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente; no obstante, en este caso no se admitirá el uso de cal viva, porque podría causar expansión en el suelo.

En los suelos estabilizados con escoria y cal el porcentaje estimado en peso de cal se encuentra en 1.5 y 3% y de la escoria entre 35% - 45% en volumen. La utilización de grados con tamaño máximo limitado al de las arenas facilita los trabajos de mantenimiento sin desgastar prematuramente las cuchillas de motoniveladoras ni formar estrías sobre la calzada.

Además tamaño de agregados mayores a 1 cm al ser despedidos por la acción del tránsito pueden provocar daños a los vehículos así como a las personas.

9.8 Estabilización con cloruro de sodio

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación.

La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el Sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante.

Los suelos que se usen para la construcción de Suelo-Sal deben estar limpios y no deben tener mas de tres por ciento (3%) de su peso de materia orgánica.

El índice de plasticidad del suelo debe ser mayor a 8%, pero para la fracción de suelos que pasa la malla Nº200 el requerimiento mínimo es de 12%. No obstante, para mayores índices de plasticidad del suelo, se permite aceptar para la fracción de suelos que pasa la malla #200, menores valores de IP hasta un límite no menor a 9%.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de Suelo-Sal. El espesor total de la capa de suelo estabilizado con sal será de 150 mm o 200 mm, según se especifique en el Proyecto.

La Sal (cloruro de sodio) se produce mediante 3 métodos, el más antiguo consiste en el empleo del calor solar para producir la evaporación del agua salada, con lo que se obtienen los residuos de sal. Otro método consiste en la

extracción directa de las minas de sal y el tercer método consiste en la evaporación del agua de mar mediante el empleo de hornos.

El cloruro de sodio se presenta en forma de cristales, fácilmente solubles en agua, los cuales son higroscópicos y se les consigue en el mercado constituyendo cristales grandes o polvo fino y con diferentes grados de pureza.

Las características típicas de la sal (cloruro de sodio) son:

Cuadro 9.5
Características Típicas de Sal (Cloruro de Sodio)

Características	Límites
Cloruro de sodio, %	98.00 – 99.70
Humedad, %	2.00 – 3.60
Materia insoluble, %	0.007 – 0.175
Ion calcio, %	0.035 – 0.910
Ion magnesio, %	0.002 – 0.074
Ion sulfato, %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm (Nº 4)	20 – 55%
Tamiz 1.18 mm (Nº 16)	50 – 70%
% Pasa Tamiz 1.18 mm (Nº 16)	13% max

Normalmente la cantidad de sal está comprendida entre 50 y 80 kg/m^3 de suelo a estabilizar. No obstante, la cantidad adecuada de sal depende de los resultados que se obtengan del tramo de prueba.

El agua que se use para la construcción de Bases de Suelo – Sal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

Se podrá incorporar al agua, sal (Cloruro de Sodio), produciendo salmuera o también podrá aplicarse el agua de mar, mediante riego de salmueras, verificando que la cantidad de agua regada contenga la dosis adecuada de sal.

La mezcla sobre la vía es el conjunto de operaciones que, mediante el mezclado sobre la plataforma de la vía del suelo con la Sal y con el agua, utilizando el equipo adecuado, permite obtener la mezcla de Suelo – Sal que satisfaga los requisitos establecidos. Para mezclar es más adecuado el uso de rastras con discos rotatorios. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilada la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo. Cuando se observe que se ha perdido la sal por efecto del tránsito o las lluvias, la superficie debe rociarse con 450grs de sal por cada metro cuadrado.

9.9 Estabilización con cloruro de calcio

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y es un paliativo del polvo.

Las características higroscópicas de este producto ayudan a mantener la humedad en la superficie del camino.

Se puede utilizar de dos formas:

- En granos regulares o Tipo I
- En hojuelas o pelotillas o Tipo II

La dosificación es de 1% - 2% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio; generalmente se aplica disuelto en agua mediante riego al comienzo de la temporada seca.

El suelo a estabilizar deberá presentar las siguientes características:

- Agregado grueso (1" – N° 4) de 10 – 60%
- Agregado fino menor que la malla N° 200 de 10 – 30%
- Índice plástico IP = 4 – 15%
- Sulfatos 001% máximo.

9.10 Estabilización con cloruro de magnesio

El cloruro de magnesio (MgCl) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Químicamente, el cloruro de magnesio está constituido aproximadamente por un 10.5% de magnesio, un 33.5% de cloro, un 52% de agua y un 4% de impurezas, grasoso al tacto por su gran contenido de humedad. Para el uso vial presenta las siguientes propiedades útiles:

- Higroscópica: Posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
- Ligante: Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodado.
- Resistente a la evaporación: Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.
- Baja temperatura de congelamiento: -32.8 ºC.
- Altamente soluble en agua: Permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla.

En los caminos pavimentados, el cloruro de magnesio puede utilizarse para prevenir la formación de hielo sobre la calzada ("anti-icing"), o bien para derretir hielo ya formado sobre el pavimento ("de-icing"), debido a que permite bajar el punto de congelamiento del agua e impedir la formación de hielo, a temperaturas ambientales por debajo de los -5 ºC.

En los caminos no pavimentados, se utiliza bajo dos formas de aplicación diferentes:

- Como tratamiento supresor de polvo: el camino no pavimentado (afirmado) debe ser previamente preparado, humedecido, compactado, y estar libre de deterioro en superficie.

  De preferencia, el material deberá contener una proporción de material fino en el orden del 10 al 20% para asegurar cohesión (en tal sentido, mejor si son finos plásticos), y al menos un 20% de material granular con tamaño superior a 10 mm para asegurar un mínimo de estabilidad estructural.

  Sobre esta capa se aplica una serie de riegos de salmuera de cloruro de magnesio, cuya disolución debe ser homogénea y estar en proporción 1,5 a 1 con el agua (en peso), con lo cual la salmuera tendrá una densidad de 1,25 tn/m3.

  Se recomienda aplicar unos 4 l/m2 de riego sobre el camino, pudiendo variar la dosis en función de la geometría del camino, tránsito futuro, o también de la proporción de finos plásticos. De esta manera, se consigue una costra superficial durable que reduce casi por completo la dispersión del polvo causada por el tránsito vehicular, mejorando sensiblemente las condiciones ambientales en la zona aledaña.

- Como estabilizador superficial: en este caso, se debe mezclar la parte superior de la capa de afirmado con el producto diluido en agua, en un espesor variable entre 7 y 15 cm de acuerdo al diseño efectuado.

  La dosis de cloruro de magnesio se aplica, en una proporción de entre 3 y 5% en peso de suelo seco, depende del grado de plasticidad en el material a tratar (a mayor IP, menor cantidad requerida de MgCl).

  El material debe ser trabajado con maquinaria y mezclado en forma homogénea, y se debe humectar hasta alcanzar su humedad óptima considerando el aporte de la salmuera de cloruro de magnesio, y descontando la humedad natural del afirmado. Posteriormente, el material ya humectado debe ser apropiadamente distribuido y compactado con rodillo liso vibratorio.

9.11 Estabilización con productos asfálticos

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad:

1. Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.
2. Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200, LL < 30 e IP < 10.

Los materiales asfálticos usualmente empleados son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La mezcla se hace con frecuencia in situ, y la elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. La granulometría puede ser abierta, cerrada con finos o cerrada sin finos, pero una mayor superficie específica exigirá un ligante de curado y rotura más lentos, para permitir una mezcla mas adecuada. En zonas con temperaturas elevadas, también deberán usarse productos de curado y rotura más lentos, estos podrán ser mas viscosos.

En el caso de las estabilizaciones con emulsiones asfálticas se emplea un emulsificante, tal como un agente químico utilizado como emulsificante y definido como tenso activo o surfactante aniónico o catiónico, que determinará la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas.

Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad; puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad; además, para el caso de suelos plásticos, con otros productos se logra mayor eficiencia y economía.

Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava sí el material pétreo no es afín con el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especimenes de pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con carga estática.

Después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60° C, se sacan y se penetran hasta la falla o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35 mm registrándose la carga máxima en Kg, se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.

El procedimiento constructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No se debe hacer la estabilización cuando hay mucho viento, menos de 5° C o lluvia. Las estabilizaciones se ejecutarán cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a 15° C, no obstante, sí la temperatura ambiente tiene tendencia a aumentar, podrá fijarse en 10° C la temperatura límite inferior para poder ejecutar la mezcla; estos límites podrán ser rebajados en 5° C, cuando la

aplicación del ligante se efectúe directamente en la máquina de una sola pasada o en la mezcladora de la planta fija.

La dosificación depende de la granulometría del suelo, suelos finos requieren mayor cantidad de asfalto, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de asfalto utilizado varía entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el asfalto no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

El proceso de curado en la estabilización con asfalto tiene una gran importancia, depende de muchas variables, como cantidad de asfalto aplicado, humedad y viento, cantidad de lluvias y la temperatura ambiente; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con asfalto.

9.12 Estabilización con geosintéticos

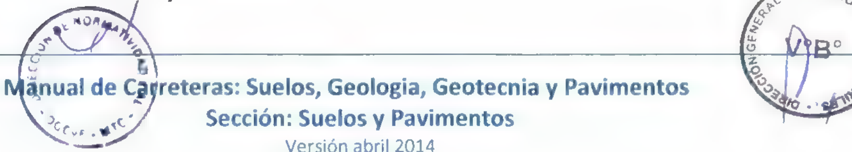
A diferencia de los suelos, los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de pavimentos.

La experiencia internacional que se tiene hasta ahora de los geosintéticos, respecto al comportamiento frente a los agentes agresivos y respecto a su resistencia mecánica, ha permitido la diversificación funcional de los geosintéticos; así tenemos, que la función drenante y anticontaminante es la misión específica de los geotextiles; la función específica de armado o refuerzo del terreno (o de la explanada) o de los pavimentos, está en el ámbito de las geomallas; y, la función de impermeabilización o protección está en el campo de las geomembranas.

Las funciones de separación y filtro de los geotextiles y la función de refuerzo de las geomallas, se pueden combinar para proporcionar una estabilización mecánica de los suelos de sub rasante inadecuada. Las geomallas también se pueden utilizar para reforzar o separar la capa de base de un pavimento flexible ya que nos permite mejorar el valor de soporte y asi mejorar el comportamiento de la estructura del pavimento y los geotextiles se pueden colocar en la interfase de subbase - base: (i) para permitir el drenaje de la subbase, cuando se evidencie un mal drenaje, por ejemplo por la utilización de una base densa o cerrada; y / o (ii) para permitir el rápido drenaje de la capa de base.

Las condiciones consideradas óptimas para el uso de geosintéticos, en la construcción de carreteras:

1. Suelos Clasificados según:
    - Clasificación SUCS: SC, CL, CH, ML, MH, OL, OH y PT
    - Clasificación AASHTO: A-5, A-6, A-7-5 y A-7-6
2. Baja resistencia al corte y sin drenaje
    - Tf = Cu <2,000 libras por pie cuadrado (90 kPa)
    - CBR <3 (muestra saturada, CBR determinado según la norma ASTM D 4429)



- R-valor ~ <20 (Determinado según la norma AASHTO T 190)
- MR ~ <4500 psi (30 MPa) (Determinado según la norma AASHTO T 274)

3. Nivel freático alto

4. Sensibilidad alta (S > 8, como resultado de la relación entre la resistencia a la compresión no confinada en estado inalterado y la resistencia a la compresión no confinada en estado remoldeado, de una muestra de suelo cohesivo, determinado según el ensayo MTC E 121).

En estas condiciones, los geosintéticos pueden funcionar como separadores para evitar la contaminación o entremezcla de los agregados del afirmado, subbase o base de la carretera y el suelo de la sub rasante; migración de finos se ha observado aun en suelos con CBR 8%. Asimismo, el filtro es necesario, porque los suelos por debajo de un CBR de 3%, suelen ser húmedos y saturados, en tal sentido, el agua existente puede drenar a través de los geosintéticos sin que se produzca transporte de sólidos. También los geosintéticos en su función de refuerzo permitirán, a través del tiempo, la disipación de los esfuerzos y reducción de tensiones en la subbase y mejoramiento de la capacidad de carga.

Según el documento ETL1110-1-189 del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, existen varios tipos de geomallas: geomallas extruídas (extruded), geomallas tejidas (woven), geomallas soldadas (welded) y compuestos de geomallas (geogrid composites). Las geomallas extruídas son formadas de láminas de polímero las cuales son perforadas, calentadas y estiradas en dos direcciones para mejorar sus propiedades físicas. Las geomallas tejidas son fabricadas de fibras de polímero tejidas y luego recubiertas para aumentar su resistencia a la abrasión. Las geomallas soldadas son fabricadas soldando las uniones de una malla de cintas extruídas de polímero. Finalmente, los compuestos de geomalla son geomallas formadas en combinación con otro geosintético para resolver una aplicación geotécnica en particular. De acuerdo a la experiencia internacional, las geomallas extruídas han tenido un mejor comportamiento estructural en aplicaciones de refuerzo de pavimentos.

Se han identificado tres mecanismos de refuerzo de las geomallas en el refuerzo de suelos y pavimentos: confinamiento lateral de las partículas, mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural y el efecto membrana tensionada (ETL 1110-1-189).

Confinamiento Lateral

Este mecanismo se logra a través de la trabazón de las partículas granulares con el refuerzo. Las geomallas aumentan el módulo de la capa reforzada al confinar las partículas e impedir su movimiento natural ante la aplicación de las cargas vehiculares. La trabazón mecánica aumenta la rigidez de la base reduciendo las deformaciones verticales en la interfase inferior y los ahuellamientos en la superficie de rodadura.

Mejoramiento de la Capacidad Portante del Terreno Natural

La rigidez de la geomalla permite distribuir las cargas aplicadas en una mayor área disminuyendo los esfuerzos cortantes y verticales en el terreno natural blando. Básicamente se traslada el plano de falla de la estructura del pavimento de un material no competente (blando) a materiales de mejor comportamiento estructural como la base/subbase.

Efecto Membrana Tensionada

Este mecanismo se presenta cuando ocurre un ahuellamiento o deformación considerable en el terreno natural debido a una carga vehicular, desarrollándose unos esfuerzos que son soportados por la resistencia a la tensión del refuerzo. Este efecto de membrana tensionada desarrolla en el refuerzo una resistencia vertical y un confinamiento hacia abajo, aumentando la resistencia al corte del terreno natural. Este mecanismo de refuerzo para desarrollarse necesita una deformación significativa de la superficie de la carretera, que no siempre es admisible en caminos pavimentados, y adicionalmente, el tráfico debe ser canalizado.

Hasta hace unos años, el efecto membrana tensionada se consideraba el mecanismo principal de refuerzo. Luego de años de investigación se ha determinado que cuando se quiere reforzar la capa granular el mecanismo principal es el confinamiento lateral. En el refuerzo de capas granulares las deformaciones en la estructura del pavimento son mínimas por lo que el efecto membrana tensionada no se alcanza a desarrollar. Cuando se quiere hacer un mejoramiento del terreno natural, los mecanismos principales son el mejoramiento de la capacidad portante y el efecto membrana tensionada.

De acuerdo al USACE y AASHTO, existen diferentes tipos de geomallas, no obstante que presentan una apariencia similar, pero no necesariamente tienen el mismo beneficio estructural. Por lo tanto, en caso de que el Ingeniero Responsable decida utilizar geosintéticos para la estabilización de suelos, analizará y sustentará la conveniencia de aplicación del tipo de geosintético que incluirá en su diseño, definiendo si se aplicará para una función drenante, filtro, anticontaminante, refuerzo o protección.





CAPÍTULO X

MATERIALES PARA PAVIMENTO





MATERIALES PARA PAVIMENTO

Todos los materiales deberán cumplir los requerimientos del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para, vigente; no obstante, cuando en un determinado proyecto de pavimentación se requiera especificaciones nuevas concordantes en el estudio o que amplíen, complementen o reemplacen a las especificaciones generales, el autor del proyecto o el ingeniero responsable de suelos y pavimentos deberá emitir las especificaciones especiales para ese proyecto y solo será aplicable para su ejecución.

10.1 De los geosintéticos

Estos materiales deberán cumplir los requisitos mínimos establecidos en las Normas Técnicas Peruanas INDECOPI, en las Normas de Ensayo de Materiales del MTC, o en ausencia de ellas, en las Normas Técnicas internacionales vigentes. Asimismo, para la colocación y ejecución de la partida, deberá estar de acuerdo con el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para, vigente.

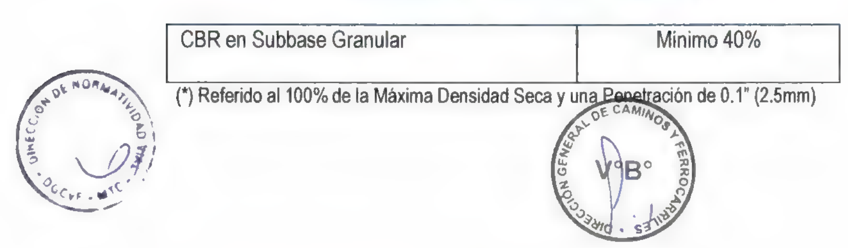
10.2 Del afirmado

El material de afirmado deberá cumplir con los requisitos mínimos establecidos en la **Sección 301** deL Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente y lo establecido en el **acápite 11.3** materiales de afirmado, del presente manual. Asimismo, para su ejecución se deben cumplir los requisitos de materiales, equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.

10.3 De la subbase granular

El material granular para la capa de subbase deberá cumplir los requisitos mínimos establecidos en la **Sección 402** del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente. Asimismo se deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad, aceptación de los trabajos y las consideraciones de CBR mencionadas en este manual para el diseño del pavimento, y que según el caso deberá estar precisado en las Especificaciones del proyecto.

Cuadro 10.1
Valor Relativo de Soporte, CBR en Subbase Granular (*)
(MTC E132, NTP 339.145 1999)



CBR en Subbase Granular	Mínimo 40%

(*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1" (2.5mm)

10.4 De la base granular

El material granular para la capa de base deberá cumplir los requisitos de calidad establecidos en la Sección 403 del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente. Asimismo se deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad, aceptación de los trabajos y las consideraciones de CBR mencionadas en este manual para el diseño del pavimento, y que según el caso deberá estar precisado en las Especificaciones del proyecto.

Cuadro Nº 10.2
Valor Relativo de Soporte, CBR en Base Granular (*)
(MTC E132, NTP 339.145 1999)

Para Carreteras de Segunda Clase, Tercera Clase, Bajo Volumen de Tránsito; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 10^6$	Mínimo 80%
Para Carreteras de Primera Clase, Carreteras Duales o Multicarril, Autopistas; o, para Carreteras con Tráfico en ejes equivalentes $> 10 \times 10^6$)	Mínimo 100%

Fuente: Elaboración Propia en base a la Sección 403 de las EG-Vigente del MTC y al Tipo de Carretera especificada en la RD 037-2008-MTC/14
(*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1" (2.5 mm)

10.5 De las bases tratadas con asfalto, con cal y con cemento

Los materiales granulares para las capas de bases tratadas, deberán cumplir con los requisitos establecidos en el Capítulo Nº 4 (Subbases y Bases) del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente. Asimismo se deben cumplir con los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.

10.6 De los pavimentos asfálticos en frío

Dentro de estas capas asfálticas en frío se encuentran los Tratamientos Superficiales Bicapa, Mortero Asfáltico o Lechada Asfáltica (Slurry Seal), Micropavimentos en frío, Macadam asfáltico y las carpetas asfálticas en frío. Los materiales de estas capas asfálticas, deberán cumplir los requisitos establecidos en el Capítulo Nº 4 (Pavimento Asfáltico) del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente. Asimismo se deben cumplir con los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.

10.7 De los pavimentos asfálticos en caliente

Los materiales para las mezclas asfálticas en caliente, deberán cumplir con los requisitos establecidos en el Capitulo Nº 4 (Pavimento Asfáltico) del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente respecto a los agregados gruesos, agregados finos, gradación y los tipos de

cemento asfáltico. Asimismo se deben cumplir con los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS Y EN ALTURA

Para el diseño de mezclas asfálticas en caliente en zonas de clima frío y en altura (mayor a 3,000 msnm), se tendrá en cuenta las condiciones desfavorables que deben soportar.

Para el diseño se dará un especial énfasis a la calidad que deben reunir los agregados desde el punto de vista de su gradación, limpieza, forma, dureza, textura, etc; y el cemento asfáltico especialmente en lo que se refiere a su consistencia, durabilidad, susceptibilidad térmica, etc. Además de la calidad de los materiales a emplear, se recomienda lo siguiente:

- Trabajar con granulometrías continuas, bien graduadas, tratando de lograr vacíos del agregado mineral (V.M.A.) superiores al 15%.

- La condición anterior debe permitir incrementar el porcentaje de asfalto a incorporar en la mezcla, tendiendo en lo posible, al límite superior del porcentaje de vacíos llenos con asfalto, recomendados para la mezcla compactada; o sea próximo al 85% y manteniendo además, las respectivas características físico-mecánicas exigidas para la carpeta o para la base asfáltica.

- Los vacíos residuales de la mezcla compactada deben tender al valor mínimo especificado, dado que ello contribuye a disminuir la posible alteración del asfalto por oxidación, y a preservar a las mezclas de la acción del agua (agravada por la acción del tránsito) y de los ciclos de variación térmica frío – calor - frío.

- El mayor espesor de la película bituminosa que recubrirá a los agregados por el mayor porcentaje de asfalto junto con el empleo de un ligante de consistencia y susceptibilidad térmica adecuada, incrementará la durabilidad del pavimento.

- La incorporación de porcentajes máximos de arena de trituración permite el logro de carpetas de rodadura con buena resistencia al deslizamiento y conveniente estabilidad; no obstante, debe realizarse un correcto balance de este valor máximo de arena a efectos de no afectar la trabajabilidad de la mezcla ni su compactabilidad, así como tampoco la flexibilidad de la carpeta por un aumento inconveniente del módulo de rigidez.

- El uso como filler de cal hidratada, en condiciones acordes con su "concentración critica" a la vez que contribuye a la disminución de los vacíos de la mezcla, mejora la adherencia entre los agregados y el asfalto y mejora la resistencia del asfalto al envejecimiento.

10.8 De los pavimentos de concreto hidráulico

Los materiales para la mezcla de concreto hidráulico, deberán cumplir con los requisitos establecidos en el **Capítulo Nº 4** (Pavimento de Concreto Hidráulico) en la **Sección 438** del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente. Asimismo se deben cumplir con los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.

10.9 De los pavimentos de bloques intertrabados (adoquines) de concreto de cemento portland

Los materiales de los adoquines deberán cumplir con los requisitos establecidos en el **Capítulo Nº 4** (Pavimento de Concreto Hidráulico) en la **Sección 440** del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente. Asimismo se deben cumplir con los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad y aceptación de los trabajos.



CAPÍTULO XI

AFIRMADOS




AFIRMADOS

Las carreteras no pavimentadas con revestimiento granular en sus capas superiores y superficie de rodadura corresponden en general a carreteras de bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de Ejes Equivalentes de hasta 300,000 EE en un periodo de diez años; estas carreteras no pavimentadas pueden ser clasificadas como sigue:

a) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo y finos ligantes.

b) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.

c) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25 mm. Pudiendo ser estos: Afirmados con gravas naturales o zarandeadas, o Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.

d) Carreteras con superficie de rodadura tratada con materiales industriales:

   d.1 Afirmados con superficie tratada para el control de polvo, con materiales como: cloruros, aditivos, productos asfálticos (imprimación reforzada o diferentes tipos de sello asfáltico), cemento, cal u otros estabilizadores químicos.

   d.2 Suelos naturales estabilizados con: emulsión asfáltica, cemento, cal, cloruros, geosintéticos y otros aditivos que mejoren las propiedades del suelo.

11.1 Metodología de diseño

Se presenta una metodología para diseñar estructuras de pavimentos cuya capa de rodadura estará compuesta por material de afirmado en su totalidad, entendiéndose esta como una capa de material granular destinada a soportar las cargas del tránsito, que adicionalmente puede ser tratada para el control de polvo.

La metodología a desarrollarse permitirá diseñar de manera técnica y rápida el espesor de una capa de afirmado, teniendo en cuenta la resistencia de la sub rasante y el tránsito estimado para un periodo de diseño.

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la sub rasante, el número total de los vehículos pesados durante el periodo de diseño, expresados en ejes equivalentes (EE); y, los materiales granulares cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las Especificaciones Técnicas

Generales para la Construcción de Carreteras vigente; también forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la sub rasante o el tratamiento de las capas de revestimiento granular.

Esta metodología establece el espesor del diseño en función de los siguientes parámetros:

- Características de la Sub rasante (según el capítulo 4. Suelos)
- Nivel de Transito (Según el capitulo 6. Trafico)

11.2 Secciones de capas de afirmado

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptará cualquier método de diseño que satisfaga los requerimientos del proyecto, el cual será aprobado por la entidad contratante o administradora y reportado al órgano normativo del MTC.

Para el dimensionamiento de espesores de afirmado mostrado en el presente Manual, se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10}CBR) + 58 \times (\log_{10}CBR)^2] \times \log_{10}(Nrep/120)$$

Donde:

e = espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = valor del CBR de la sub rasante.

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

A continuación se presentan los espesores de afirmado propuestos considerando sub rasantes con CBR > 6% hasta un CBR > 30% y tráfico con número de repeticiones de hasta 300,000 ejes equivalentes.

Es necesario precisar que los sectores que presenten sub rasantes con CBR menor a 6% (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), serán materia de un estudio específico de estabilización o reemplazo de Suelos de la Sub rasante.

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL - DGCyF - MTC

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°



Cuadro 11.1
Resumem

CBR % Diseño	EJES EQUIVALENTES																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
	ESPESOR DE MATERIAL DE AFIRMADO (mm)																		
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

(*) Subrasante con CBR <6%, serán materia de estabilización o mejoramiento de subrasante, según los criterios expuestos en el Capitulo 9 Estabilización de Suelos

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 11.1

ESPESOR DE CAPA DE REVESTIMIENTO GRANULAR

Espesor del Afirmado (mm)

350
300
250
200
150
100
50
0

CBR=6%
CBR=7%
CBR=8%
CBR=9%
CBR=10%
CBR=12%
CBR=15%

Espesor Mínimo de 150 mm

$$e = [219 - 211.(Log_{10}CBR) + 58.(Log_{10}CBR)^2].Log_{10}\left(\frac{Nrep}{120}\right)$$

Donde:
e: Espesor de la capa de afirmado, en mm
Nrep : Número de Repeticiones de EE (Carril de diseño)
CBR: CBR de la Subrasante, en %

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 200 300

Ejes Equivalentes (miles)

Fuente : Elaboración propia en base al Método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS)



Figura N° 11-2
CATALOGO DE CAPAS DE AFIRMADO (REVESTIMIENTO GRANULAR)
PERIODO DE 10 AÑOS

CBR % \ EE		Tnp1 < 25,000	Tnp2 25,001-75,000	Tnp3 75,001-150,000	Tnp4 150,001-300,000
CBR < 6%		25cm (*)	30cm (*)	30cm (*)	35cm (*)
6%≤CBR<10%	CBR 6%-8%	25cm	30cm	30cm	35cm
	CBR 8%-10%	20cm	25cm	25cm	30cm
10%≤CBR<20%	CBR 10%-12%	20cm	20cm	25cm	25cm
	CBR 12%-20%	15cm	20cm	20cm	20cm
20%≤CBR<30%	CBR 20%-30%	15cm	15cm	15cm	15cm
CBR ≥ 30%		15cm	15cm	15cm	15cm

Leyenda: Afirmado

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación NAASRA.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.
4. En la etapa de Operación y Conservación vial, efectuar Perfilado periódicamente por lo menos una vez cada año y control de polvo mediante riego de agua, asfalto, cloruro, aditivos químicos u otros.



11.3 Materiales de afirmado

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizará como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica necesaria en la carretera de afirmado.

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre.

El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas. Asimismo necesita un porcentaje de arena clasificada, según tamaño, para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa y, necesariamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Existen pocos depósitos naturales de material que tienen una gradación ideal, donde el material sin procesar se puede utilizar directamente por lo que será necesario zarandear el material para obtener la granulometría especificada. En general, los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Las características que deberá de cumplir el material de afirmado será la que se describe en el presente Manual. No obstante, es importante indicar que todos los materiales para afirmados no son los mismos, en tal sentido, la calidad del material debe determinarse mediante ensayos.

Para la dosificación y mezcla del material para afirmado, se tendrá como referencia y punto de partida las gradaciones que se recomiendan en el **cuadro 11.2** referidas a AASHTO M 147 y en el **cuadro 11.3** referidas a FHWA.



DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
V°B°



Cuadro 11.2
Gradación del Material de Afirmado

PORCENTAJE QUE PASA DEL TAMIZ	GRADACIÓN C	GRADACIÓN D	GRADACIÓN E	GRADACIÓN F
50 mm (2")				
37.5 mm (1½")				
25 mm (1")	100	100	100	100
19 mm (¾")				
12.5 mm (½")				
9.5 mm (3/8")	50 - 85	60 - 100		
4.75 mm (Nº 4)	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.36 mm (Nº 8)				
2.0 mm (Nº 10)	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um (Nº 40)	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um (Nº 200)	5 -15	5 - 20	6 - 20	8 - 25
Índice de Plasticidad	**4 – 9**	**4 – 9**	**4 - 9**	**4 – 9**
Límite Líquido	**Máx. 35%**	**Máx. 35%**	**Máx. 35%**	**Máx. 35%**
Desgaste Los Ángeles	**Máx. 50%**	**Máx. 50%**	**Máx. 50%**	**Máx. 50%**
CBR [referido al 100% de la Máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5mm)]	**Mín. 40%**	**Mín. 40%**	**Mín. 40%**	**Mín. 40%**

Fuente: AASHTO M 147





Cuadro 11.3
Gradación del Material de Afirmado

PORCENTAJE QUE PASA DEL TAMIZ	FHWA – FP 03	FHWA – SD LTAP
50 mm (2")		
37.5 mm (1½")		
25 mm (1")	100(1)	
19 mm (¾")	97 – 100(1)	100
12.5 mm (½")		
9.5 mm (3/8")		
4.75 mm (N° 4)	41 – 71 (7)	50 - 78
2.36 mm (N° 8)		37 - 67
2.0 mm (N° 10)		
4.25 um (N° 40)	12 – 28 (5)	13 - 35
75 um (N° 200)	9 -16 (4)	4 - 15
Índice de Plasticidad	8 (4)	4 - 12
Límite Líquido	Máx. 35%	Máx. 35%
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	Máx. 50%
CBR [referido al 100% de la Máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5mm)] **(*)**	Mín. 40%	Mín. 40%
Nota: (1) = Procedimiento estadístico no aplica ( ) = desviación admisible (±) del valor indicado		

Fuente: Federal Highway Administration – FHWA

(*) Si el CBR del material es menor al mínimo recomendado se efectuará un estudio específico para mejorar las propiedades del material



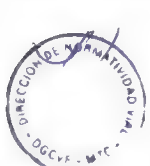
Para el caso del porcentaje que pasa el tamiz 75 um (Nº 200), se tendrá en cuenta las condiciones ambientales locales (temperatura y lluvia), especialmente para prevenir el daño por la acción de las heladas. En este caso será necesario tener porcentajes más bajos al especificado que pasa el tamiz 75 um (Nº 200), por lo que, en caso no lo determine el proyecto, el supervisor deberá fijar y aprobar los porcentajes apropiados.

Muy importante es el índice de plasticidad que podrá llegar hasta un máximo de 12 y no debe ser menor de 4. La razón es que la capa de rodadura en su superficie necesita un mayor porcentaje de material plástico y las arcillas naturales le darán la cohesión necesaria y por lo tanto una superficie cómoda para la conducción vehicular. Esto puede ser crítico durante el período seco, pues necesitará riego de agua.

En el caso de que se tuvieran materiales con índice de plasticidad fuera del rango 4-12%, se estudiará el empleo de un estabilizador de suelos con un producto asfáltico, con cal, cemento, cloruros de sodio (Sal), calcio o magnesio u otros estabilizadores químicos de suelos con la finalidad de mantener y/o prolongar la vida útil de la carretera.

Es a partir de lo antes señalado que se efectúan los ensayos y dosificaciones hasta conseguir un material de afirmado de buena calidad, con gradación y plasticidad adecuadas que le de cohesión. De ser el caso, se establecerán las diferencias que sustenten una especificación especial, como variante de lo indicado en el presente manual o lo estipulado en la **Sección 301** del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para, vigente.

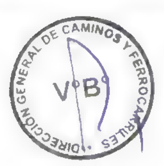
Un aspecto que debe tenerse en cuenta en los caminos afirmados, es el control de polvo, debido a que todos estos caminos emiten polvo por el tráfico circulante. La cantidad de polvo que se produce en un camino afirmado es muy variable, depende de la zona del país (lluvioso o árido), del tráfico que soporta y la calidad del afirmado. Es necesario que el Ingeniero Proyectista, analice y sustente la necesidad de aplicación de paliativos de control de polvo, especialmente en cruces urbanos, zonas agrícolas o restos históricos, donde el polvo generado por el tráfico resulta perjudicial a la salud, a la producción agrícola y al deterioro progresivo del patrimonio cultural; el análisis debe incluir el periodo de servicio, debido a que prácticamente la aplicación de todos los métodos de control de polvo es anual. Los tipos de control de polvo, pueden ser riegos con agua natural, riegos incluyendo cloruros o aditivos, aplicación de productos asfálticos (imprimación reforzada, diferentes tipos de sellos asfálticos), utilización de cal, cemento u otros estabilizadores químicos.



CAPÍTULO XII

PAVIMENTOS FLEXIBLES





PAVIMENTOS FLEXIBLES

12.1 Metodología de diseño

En este manual se ha optado, para el dimensionamiento de las secciones del pavimento, por los procedimientos más generalizados de uso actual en el país. Los procedimientos adoptados son:

a. Método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

b. Análisis de la Performance o Comportamiento del Pavimento durante el periodo de diseño.

Típicamente el diseño de los pavimentos es mayormente influenciado por dos parámetros básicos:

- Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento.
- Las características de la sub rasante sobre la que se asienta el pavimento.

La forma como se consideran estos dos parámetros dependerá de la metodología que se emplee para el diseño.

1) Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, Equivalent Single Axle Loads 18-kip o 80-kN o 8.2 t, que en el presente Manual se denominan Ejes Equivalentes (EE). La sumatorias de ESALs durante el periodo de diseño es referida como (W_{18}) o ESALD, en el presente Manual se denominan Número de Repeticiones de EE de 8.2 t.

   Para el caso del tráfico y del diseño de pavimentos flexibles, en este manual, se definen tres categorías:

   a) Caminos de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Cuadro 12.1
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T_{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T_{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T_{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T_{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia
Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño
PX = Pavimentada, X = número de rango (1, 2, 3, 4)





b) Caminos que tienen un tránsito, de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Cuadro 12.2
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T_{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T_{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T_{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T_{P9}	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T_{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T_{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T_{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T_{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T_{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia
Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño
PX = Pavimentada, X = número de rango (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)

c) Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño. Esta categoría de caminos, no está incluida en el presente manual, el diseño de pavimentos será materia de Estudio Especial por el Ingeniero Proyectista, analizando diversas alternativas de pavimento equivalentes y justificando la solución adoptada.

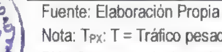
Cuadro 12.3
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P15}	> 30'000,000 EE





Fuente: Elaboración Propia
Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño
PX = Pavimentada, X = número de rango (14)



2) Las características de la sub rasante sobre las que se asienta el pavimento, están definidas en seis (06) categorías de sub rasante, en base a su capacidad de soporte CBR.

Cuadro 12.4
Categorías de Sub rasante

CATEGORÍAS DE SUB RASANTE	CBR
S_0 : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S_1 : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S_2 : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S_3 : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S_4 : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S_5 : Sub rasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Elaboración propia

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor (sub rasante insuficiente o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos u otros productos aprobados por la entidad contratante o administradora, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la mas conveniente técnica y económica.

Con base en estos dos parámetros, tránsito expresado en ejes equivalentes (EE) y CBR de sub rasante correlacionado con módulo resilente, se definirán las secciones de pavimento que se encuentran especificadas en los catálogos de estructuras de pavimento.

La metodología empleada para definir las secciones del catálogo de los pavimentos ha consistido en aplicar el procedimiento de la Guía AASHTO 1993, y aplicar un análisis de comportamiento del pavimento que cubre el periodo de diseño de 20 años de la estructura del pavimento.

A continuación se describen las características más importantes para la aplicación de los procedimientos de cálculo usados.

12.1.1 Método Guía AASHTO 93 de diseño.

Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la perfomance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la sub rasantes para el cálculo de espesores.

Se incluye más adelante la ecuación de cálculo en la versión de la Guía AASHTO – 93.

El propósito del modelo es el cálculo del Numero Estructural requerido (SNr), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la sub rasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto.

I. Periodo de Diseño

El Periodo de Diseño a ser empleado para el presente manual de diseño para pavimentos flexibles será hasta 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, periodo de diseños por dos etapas de 10 años y periodo de diseño en una etapa de 20 años. El Ingeniero de diseño de pavimentos puede ajustar el periodo de diseño según las condiciones específicas del proyecto y lo requerido por la Entidad.

II. Variables

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36\log_{10}(SN+1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32\log_{10}(M_R) - 8.07$$

A partir de esta ecuación se desprenden las siguientes definiciones:

a) W18, es Número Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 18000 lb (80 kN) para el periodo de diseño, corresponde al Número de Repeticiones de EE de 8.2t; el cual se establece con base en la información del estudio de tráfico (ver capítulo 6).

b) **Módulo de Resiliencia (M_R)**

El Módulo de Resilencia (M_R) es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de a cuerdo a las recomendaciones del AASHTO.

Para el presente Manual, solo con fines ilustrativos se muestra los valores $M_{R,}$ y CBR en el **Cuadro 12.5**.



DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

Cuadro 12.5
Módulo Resilente obtenido por correlación con CBR

CBR% Sub Rasante	Módulo Resilente Sub Rasante (M_R) (PSI)	Módulo Resilente Sub Rasante (M_R) (MPA)	CBR% Sub Rasante	Módulo Resilente Sub Rasante (M_R) (PSI)	Módulo Resilente Sub Rasante (M_R) (MPA)
6	8,043.00	55.45	19	16,819.00	115.96
7	8,877.00	61.20	20	17,380.00	119.83
8	9,669.00	66.67	21	17,931.00	123.63
9	10,426.00	71.88	22	18,473.00	127.37
10	11,153.00	76.90	23	19,006.00	131.04
11	11,854.00	81.73	24	19,531.00	134.66
12	12,533.00	86.41	25	20,048.00	138.23
13	13,192.00	90.96	26	20,558.00	141.74
14	13,833.00	95.38	27	21,060.00	145.20
15	14,457.00	99.68	28	21,556.00	148.62
16	15,067.00	103.88	29	22,046.00	152.00
17	15,663.00	107.99	30	22,529.00	155.33
18	16,247.00	112.02			

Fuente: Elaboración propia, en base a la ecuación de correlación CBR – M_R, emtido por TRRL

c) Confiabilidad (%R)

El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (%R) que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto. Esta probabilidad está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento; sin embargo, solicitaciones diferentes a las esperadas, como por ejemplo, calidad de la construcción, condiciones climáticas extraordinarias, crecimiento excepcional del tráfico pesado mayor a lo previsto y otros factores, pueden reducir la vida útil prevista de un pavimento.

De acuerdo a la guía AASHTO es suficientemente aproximado considerar que el comportamiento del pavimento con el tráfico, sigue una ley de distribución normal, en consecuencia pueden aplicarse conceptos estadísticos para lograr una confiabilidad determinada; por ejemplo, 90% o 95%, significa que solamente un 10% o 5% del tramo pavimentado, se encontrará con un índice de serviciabilidad inferior al previsto; es decir que el modelo de comportamiento está basado en criterios de serviciabilidad y no en un determinado

mecanismo de falla. En consecuencia, a mayor nivel de confiabilidad se incrementará el espesor de la estructura del pavimento a diseñar.

La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la Ecuación de Diseño, para ello debe usarse el coeficiente estadístico conocido como Desviación Normal Estándar (Zr).

A continuación se especifican los valores recomendados de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos de tráfico:

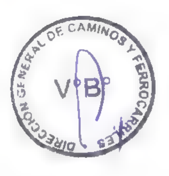
Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	75,000	150,000	65%
	T_{P1}	150,001	300,000	70%
	T_{P2}	300,001	500,000	75%
	T_{P3}	500,001	750,000	80%
	T_{P4}	750 001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T_{P15}	>30'000,000		95%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

Para un diseño por etapas, según AASHTO, se deben determinar las confiabilidades de cada etapa, teniendo en cuenta la confiabilidad total correspondiente a todo el periodo de diseño, que para el presente Manual, corresponde a los valores indicados en el **Cuadro 12.6**, elevado a la potencia inversa del número de etapas. Así se tiene la relación siguiente:

R_{Etapa} = Confiabilidad de cada etapa
R_{Total} = Confiabilidad total para el periodo total de diseño (ver **cuadro 12.6**)
n = Número de etapas





Cuadro 12.7
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)		
				1ERA. ETAPA (1)	2DA. ETAPA (2)	TOTAL (1) X (2)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	75,000	150,000	81%	81%	65%
	T_{P1}	150,001	300,000	84%	84%	70%
	T_{P2}	300,001	500,000	87%	87%	75%
	T_{P3}	500,001	750,000	89%	89%	80%
	T_{P4}	750 001	1,000,000	89%	89%	80%
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	92%	92%	85%
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	92%	92%	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	92%	92%	85%
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	95%	95%	90%
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	95%	95%	90%
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	95%	95%	90%
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	95%	95%	90%
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	97%	97%	95%
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	97%	97%	95%
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	97%	97%	95%
	T_{P15}	>30'000,000		97%	97%	95%

d) **Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr)**

El coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr) representa el valor de la Confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal.



DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
V°B°

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T_{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T_{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T_{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T_{P4}	750 001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T_{P15}	>30'000,000		-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guia AASHTO'93





Cuadro 12.9
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para dos etapas de diseño de 10 años cada una
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	75,000	150,000	-0.878
	T_{P1}	150,001	300,000	-0.994
	T_{P2}	300,001	500,000	-1.126
	T_{P3}	500,001	750,000	-1.227
	T_{P4}	750 001	1,000,000	-1.227
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.405
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.405
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.405
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.645
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.645
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.645
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.645
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.881
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.881
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.881
	T_{P15}	>30'000,000		-1.881

e) **Desviación Estándar Combinada (So)**

La Desviación Estándar Combinada (So), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de So comprendidos entre 0.40 y 0.50, en el presente Manual se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45.

f) **Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)**

El Índice de Serviciabilidad Presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

f.1) Serviciabilidad Inicial (Pi)

La Serviciabilidad Inicial (Pi) es la condición de una vía recientemente construida. A continuación se indican los índices de servicio inicial para los diferentes tipos de tráfico:

Cuadro 12.10
Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)
Según Rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	3.80
	T_{P2}	300,001	500,000	3.80
	T_{P3}	500,001	750,000	3.80
	T_{P4}	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	4.00
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	4.00
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	4.00
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	4.00
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	4.00
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	4.20
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	4.20
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	4.20
	T_{P15}	>30'000,000		4.20

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93



f.2) Serviciabilidad Final o Terminal (P_T)

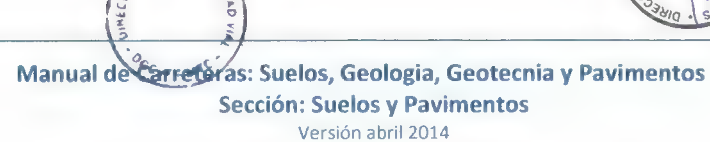
La Serviciabilidad Terminal (Pt) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción.

A continuación se indican los índices de serviciabilidad final para los diferentes tipos de tráfico.

Cuadro 12.11
Índice de Serviciabilidad Final (Pt)
Según Rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Serviciabilidad Final (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	2.00
	T_{P2}	300,001	500,000	2.00
	T_{P3}	500,001	750,000	2.00
	T_{P4}	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	2.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	2.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	2.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	2.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	2.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	3.00
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	3.00
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	3.00
	T_{P15}	>30'000,000		3.00

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93



f.3) Variación de Serviciabilidad (ΔPSI)

(Δ PSI) es la diferencia entre la Serviciabilidad Inicial y Terminal asumida para el proyecto en desarrollo.

Cuadro 12.12
Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI)
Según Rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	1.80
	T_{P2}	300,001	500,000	1.80
	T_{P3}	500,001	750,000	1.80
	T_{P4}	750 001	1,000,000	1.80
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	1.50
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	1.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	1.50
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	1.50
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	1.50
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	1.50
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	1.50
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	1.20
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	1.20
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	1.20
	T_{P15}	>30'000,000		1.20

Fuente: Elaboración Propia





g) **Numero Estructural Propuesto(SNR)**

Los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASHTO y se obtiene el Número Estructural, que representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea de la capa de rodadura, de base y de subbase, mediante el uso de los coeficientes estructurales, esta conversión se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 = coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente

d_1, d_2, d_3 = espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente

m_2, m_3 = coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente

Según AASHTO la ecuación SN no tiene una solución única, es decir hay muchas combinaciones de espesores de cada capa que dan una solución satisfactoria. El Ingeniero Proyectista, debe realizar un análisis de comportamiento de las alternativas de estructuras de pavimento seleccionadas, de tal manera que permita decidir por la alternativa que presente los mejores valores de niveles de servicio, funcionales y estructurales, menores a los admisibles, en relación al tránsito que debe soportar la calzada.

Los valores de los coeficientes estructurales considerados en el presente manual son:





Cuadro 12.13
Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a_i

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Micropavimento 25 mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000 EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000 EE No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) no se considerapor no tener aporte estructural			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 10'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 10'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm^2)	a_{2b}	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm^2)	a_{2c}	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

La ecuación SN de AASHTO, también requiere del coeficiente de drenaje de las capas granulares de base y subbase. Este coeficiente tiene por finalidad tomar en cuenta la influencia del drenaje en la estructura del pavimento.

El valor del coeficiente de drenaje esta dado por dos variables que son:

a. La calidad del drenaje.
b. Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación.

El cuadro 12.14 presenta valores de la calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada.

Cuadro 12.14
Calidad del Drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 dia
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO - 1993

El Cuadro 12.15 presenta valores de coeficiente de drenaje m_i, para porcentajes del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad del drenaje.

Cuadro 12.15
Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m_i
Para Bases y SubBases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO - 1993

Para la definición de las secciones de estructuras de pavimento del presente Manual, el coeficiente de drenaje para las capas de base y subbase, asumido fue de 1.00.

En función a los parámetros requeridos por AASHTO y especificados en los cuadros anteriores, se han determinado los diferentes Números Estructurales requeridos, para cada rango de tráfico expresado en ejes equivalentes (EE) y rango de tipo de suelos, según se presenta en gráfico y cuadro siguientes:



Figura 12.1
NÚMERO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES (*)

$$Log W_{18} = (Z_R).(S_o) + (9.36).[Log(SN+1)] - 0.20 + \frac{Log\left[\frac{P_o - P_t}{4.2 - 1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + (2.32).(Log M_R) - 8.07$$

Mr=8043 (6%)
Mr=11153 (10%)
Mr=17380 (20%)
Mr=22529 (30%)

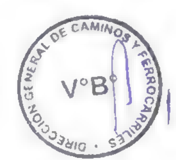
R	PO	Pt	SO
65%	3.30	1.90	0.45
70%	3.40	2.00	0.45
75%	3.50	2.00	0.45
80%	3.60	2.10	0.45
85%	3.70	2.20	0.45
90%	3.90	2.30	0.45
95%	4.00	2.40	0.45

Eje vertical: Número Estructural (SN) — 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Eje horizontal: Ejes Equivalentes (millones) — 0.05, 0.075, 0.10, 0.15, 0.30, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 10.00, 15.00, 30.00

(*) Para Confiabilidad de diseño del Pavimento en una sola Etapa.

Fuente: Elaboración propia en base al Método AASHTO 93.







Cuadro 12.16

Número Estructural Requerido para Pavimentos Flexibles (SN) – Periodo de diseño 20 años

CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE
Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular

TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula	Buena	Muy Buena	Excelente
			6 % ≤ CBR < 10 %	10 % ≤ CBR < 20 %	20 % ≤ CBR < 30 %	CBR ≥ 30 %
T_P0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.136	1.871	1.557	1.392
T_P1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.470	2.165	1.809	1.625
T_P2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.702	2.367	1.979	1.780
T_P3 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			2.956	2.593	2.173	1.959
T_P4 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.107	2.725	2.283	2.059
T_P5 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.434	3.012	2.521	2.274
T_P6 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.866	3.395	2.841	2.561
T_P7 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.206	3.707	3.105	2.797
T_P8 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.63	4.103	3.449	3.107
T_P9 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.837	4.300	3.624	3.267
T_P10 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.092	4.552	3.869	3.501
T_P11 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.226	4.679	3.985	3.609
T_P12 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.341	4.883	4.173	3.786
T_P13 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			5.907	5.323	4.580	4.172
T_P14 25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.052	5.460	4.708	4.293

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)



12.2 Secciones de estructuras de pavimento flexible

Para determinar las secciones de estructuras de pavimento flexible, se consideraron los siguientes espesores mínimos recomendados:

Cuadro 12.17
Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	T_{P2}	300,001	500,000	TSB, o Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, o Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T_{P3}	500,001	750,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T_{P4}	750 001	1,000,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frío: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	TP7	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 130mm	250 mm
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 140mm	250 mm
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

El espesor mínimo constructivo para capas superficiales con carpeta asfáltica en caliente es de 40mm y el espesor mínimo constructivo de las capas granulares (Base y Subbase) es de 150mm.

Las secciones de estructuras de pavimento flexible, que se recomiendan en el Manual, están en función al tipo de suelos (rango de CBR de diseño) y el tráfico vial expresado en número de ejes equivalentes, son las siguientes:

12.2.1 Catálogos de Números Estructurales (SN) adoptados por tipo de tráfico y de sub rasante.

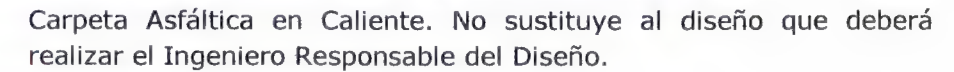
12.2.2 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible para caminos de bajo volumen de tránsito (≤ 1'000,000 EE en el carril de diseño), periodo de diseño 10 años.

Cuadro 12.18
Limitaciones de Tránsito y Geometría Vial para la Aplicación de los distintos tipos de Capa Superficial

Capa Superficial	Limitaciones de Tránsito y Geometría Vial para la Aplicación de los distintos tipos de Capa Superficial		
	Tráfico en EE	Pendiente Máxima	Curvatura Horizontal
Carpeta Asfáltica en Caliente	Sin Restricción	Sin Restricción	Sin Restricción
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	≤ 1'000,000 EE	Sin Restricción	Sin Restricción
Micropavimento 25 mm	≤ 1'000,000 EE	Sin Restricción	Sin Restricción
Tratamiento Superficial Bicapa.	≤ 500,000 EE	No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%	No Aplica en tramos con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	≤ 500,000 EE	No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%	No Aplica en tramos que obliguen al frenado de vehículos

12.2.3 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible para caminos de bajo volumen de tránsito (≤ 1'000,000 EE en el carril de diseño) y el resto de caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

12.2.4 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible con base tratada con asfalto, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de



Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

12.2.5 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible con base tratada con cemento, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

12.2.6 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible con base tratada con cal, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

12.2.7 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

12.2.8 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible con base tratada con asfalto, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

12.2.9 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible con base tratada con cemento, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

12.2.10 Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible con base tratada con cemento, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.





12.2.1

Catálogos de Números Estructurales (SN) adoptados por tipo de tráfico y de sub rasante





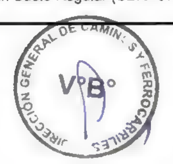


CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE Mortero Asfaltico + Base Granular + Subbase Granular						
TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula 6 % ≤ CBR < 10 %	Buena 10 % ≤ CBR < 20 %	Muy Buena 20 % ≤ CBR < 30 %	Excelente CBR ≥ 30 %
TP0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.146	2.005	1.641	1.404
TP1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.500	2.240	1.839	1.664
TP2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.735	2.381	2.005	1.420

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)

CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE Tratamiento Superficial Bicapa + Base Granular + Subbase Granular						
TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula 6 % ≤ CBR < 10 %	Buena 10 % ≤ CBR < 20 %	Muy Buena 20 % ≤ CBR < 30 %	Excelente CBR ≥ 30 %
TP0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.146	2.005	1.641	1.404
TP1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.500	2.240	1.839	1.664
TP2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.735	2.381	2.005	1.420

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)





CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE
Micropavimento + Base Granular + Subbase Granular

TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula	Buena	Muy Buena	Excelente
			6 % ≤ CBR < 10 %	10 % ≤ CBR < 20 %	20 % ≤ CBR < 30 %	CBR ≥ 30 %
$T_{P}0$ 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.293	2.033	1.640	1.432
$T_{P}1$ 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.528	2.189	1.848	1.640
$T_{P}2$ 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.788	2.387	2.033	1.825
$T_{P}3$ 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			3.023	2.600	2.189	2.033
$T_{P}4$ 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.142	2.788	2.293	2.174

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)

CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE
Carpeta Asfáltica en Frio + Base Granular + Subbase Granular

TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula	Buena	Muy Buena	Excelente
			6 % ≤ CBR < 10 %	10 % ≤ CBR < 20 %	20 % ≤ CBR < 30 %	CBR ≥ 30 %
$T_{P}0$ 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.166	1.877	1.565	1.409
$T_{P}1$ 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.530	2.219	1.930	1.670
$T_{P}2$ 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.729	2.480	2.035	1.879
$T_{P}3$ 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			2.975	2.632	2.192	2.140
$T_{P}4$ 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.127	2.820	2.400	2.140

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)



CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE

Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Subbase Granular

TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula 6 % ≤ CBR < 10 %	Buena 10 % ≤ CBR < 20 %	Muy Buena 20 % ≤ CBR < 30 %	Excelente CBR ≥ 30 %
TP0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.150	1.890	1.630	1.630
TP1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.476	2.216	1.852	1.800
TP2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.765	2.372	2.008	1.800
TP3 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			2.982	2.594	2.178	1.970
TP4 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.152	2.764	2.348	2.140
TP5 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.459	3.105	2.556	2.296
TP6 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.911	3.431	2.882	2.570
TP7 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.218	3.757	3.156	2.844
TP8 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.652	4.135	3.482	3.118
TP9 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.847	4.305	3.652	3.288
TP10 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.134	4.582	3.884	3.506
TP11 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.257	4.705	4.054	3.676
TP12 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.380	4.922	4.224	3.846
TP13 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			5.914	5.327	4.613	4.178
TP14 25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.084	5.497	4.783	4.348

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)



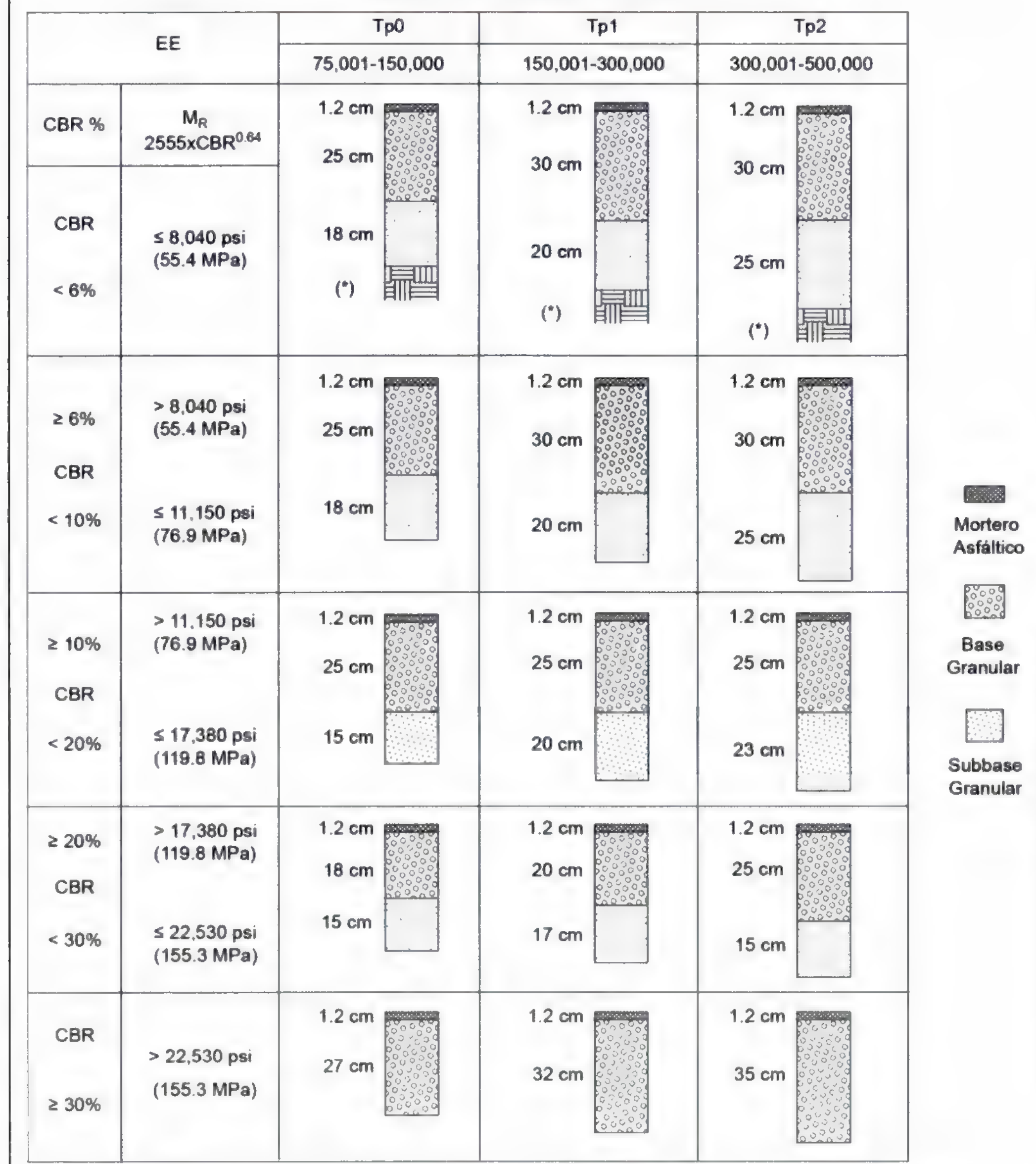
12.2.2

Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible para caminos de bajo volumen de tránsito (≤ 1'000,000 EE en el carril de diseño), periodo de diseño 10 años





Figura Nº 12.2
CATALOGO DE ESTRUCTURAS MORTERO ASFALTICO
PERIOD DE DISEÑO 10 AÑOS



EE		Tp0	Tp1	Tp2
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000
CBR %	M_R $2555xCBR^{0.64}$	1.2 cm 25 cm	1.2 cm 30 cm	1.2 cm 30 cm
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	18 cm (*)	20 cm (*)	25 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	1.2 cm 25 cm 18 cm	1.2 cm 30 cm 20 cm	1.2 cm 30 cm 25 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	1.2 cm 25 cm 15 cm	1.2 cm 25 cm 20 cm	1.2 cm 25 cm 23 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	1.2 cm 18 cm 15 cm	1.2 cm 20 cm 17 cm	1.2 cm 25 cm 15 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	1.2 cm 27 cm	1.2 cm 32 cm	1.2 cm 35 cm

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos (a cada 3 a 4 años)
4. Para su aplicación se debe respetar las limitaciones indicadas en el Manual según cuadro 12.1:
   a) Trafico máximo en el carril de diseño hasta 500,000 EE
   b) No aplica en tramos con pendiente mayor al 8%.
   c) No aplica en tramos que obliguen al frenado de vehículos.

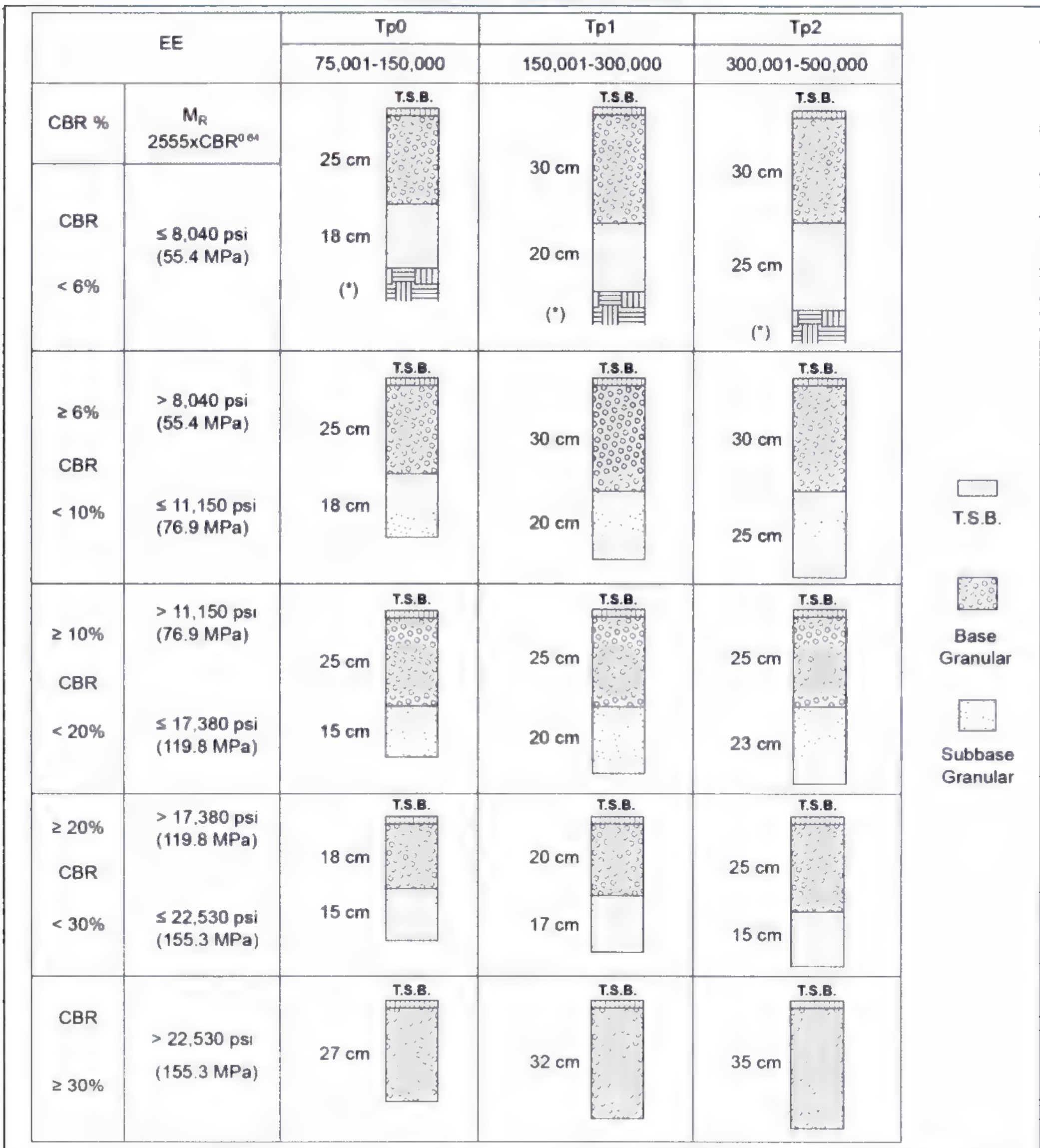




Figura N° 12.3

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOFLEXIBLE ALTERNATIVA SUPERFICIE DE RODADURA: TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA (T.S.B.)

PERIODO DE DISEÑO 10 AÑOS



EE		Tp0	Tp1	Tp2
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000
CBR %	M_R $2555xCBR^{0.64}$			
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	T.S.B. 25 cm, 18 cm, (*)	T.S.B. 30 cm, 20 cm, (*)	T.S.B. 30 cm, 25 cm, (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	T.S.B. 25 cm, 18 cm	T.S.B. 30 cm, 20 cm	T.S.B. 30 cm, 25 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	T.S.B. 25 cm, 15 cm	T.S.B. 25 cm, 20 cm	T.S.B. 25 cm, 23 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	T.S.B. 18 cm, 15 cm	T.S.B. 20 cm, 17 cm	T.S.B. 25 cm, 15 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	T.S.B. 27 cm	T.S.B. 32 cm	T.S.B. 35 cm

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos (a cada 3 a 4 años)
4. Para su aplicación se debe respetar las limitaciones indicadas en el Manual según cuadro 12.1:
   a) Trafico máximo en el carril de diseño hasta 500,000 EE
   b) No aplica en tramos con pendiente mayor al 8%.
   c) No aplica en tramos con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos.





Figura Nº 12.4
CATALOGO DE ESTRUCTURAS MICROPAVIMENTO
PERIODO DE DISEÑO 10 AÑOS

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000
CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$					
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	2.5 cm 25 cm 15 cm (*)	2.5 cm 25 cm 20 cm (*)	2.5 cm 30 cm 20 cm (*)	2.5 cm 30 cm 25 cm (*)	2.5 cm 35 cm 22 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	2.5 cm 25 cm 15 cm	2.5 cm 25 cm 20 cm	2.5 cm 30 cm 20 cm	2.5 cm 30 cm 25 cm	2.5 cm 35 cm 22 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	2.5 cm 20 cm 15 cm	2.5 cm 23 cm 15 cm	2.5 cm 25 cm 17 cm	2.5 cm 30 cm 16 cm	2.5 cm 30 cm 20 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	2.5 cm 26 cm	2.5 cm 30 cm	2.5 cm 20 cm 15 cm	2.5 cm 23 cm 15 cm	2.5 cm 25 cm 15 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	2.5 cm 22 cm	2.5 cm 26 cm	2.5 cm 16 cm 15 cm	2.5 cm 20 cm 15 cm	2.5 cm 20 cm 16 cm

Leyenda: Micropavimento; Base Granular; Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos (a cada 3 a 4 años)
4. Para su aplicación se debe respetar las limitaciones indicadas en el Manual según cuadro 12.1:
   a) Trafico máximo en el carril de diseño hasta 1'000,000 EE





Figura Nº 12.5
CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
PERIODO DE DISEÑO 10 AÑOS

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000
CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$					
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	5 cm 18 cm 15 cm (*)	5 cm 25 cm 15 cm (*)	6 cm 25 cm 17 cm (*)	7 cm 25 cm 20 cm (*)	8 cm 25 cm 21 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	5 cm 18 cm 15 cm	5 cm 25 cm 15 cm	6 cm 25 cm 17 cm	7 cm 25 cm 20 cm	8 cm 25 cm 21 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	5 cm 26 cm	6 cm 17 cm 15 cm	7 cm 20 cm 15 cm	8 cm 20 cm 16 cm	8 cm 20 cm 20 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm 20 cm	6 cm 25 cm	7 cm 25 cm	8 cm 26 cm	8 cm 30 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm 17 cm	6 cm 20 cm	7 cm 22 cm	8 cm 25 cm	8 cm 25 cm

Leyenda: Carpeta Asfáltica en Frio; Base Granular; Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos (a cada 3 a 4 años)
4. Para su aplicación se debe respetar las limitaciones indicadas en el Manual según cuadro 12.1:
   a) Trafico máximo en el carril de diseño hasta 1'000,000 EE





12.2.3

Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible para caminos de bajo volumen de tránsito (≤ 1'000,000 EE en el carril de diseño) y el resto de caminos de más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años)

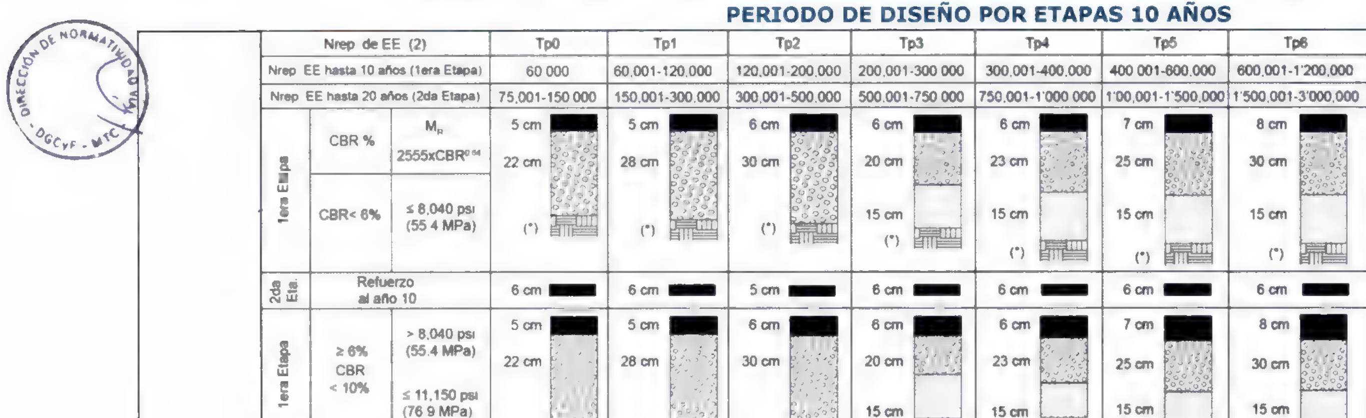




Figura N° 12.6

CATALOGO DE ESTRUCTURAS FLEXIBLE CON REFUERZO CON MEZCLA ASFALTICA EN FRIO

PERIODO DE DISEÑO POR ETAPAS 10 AÑOS



Nrep de EE (2)			Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
Nrep EE hasta 10 años (1era Etapa)			60 000	60,001-120,000	120,001-200,000	200,001-300 000	300,001-400,000	400 001-600,000	600,001-1'200,000	1'200 001-2'000 000
Nrep EE hasta 20 años (2da Etapa)			75,001-150 000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750 000	750,001-1'000 000	1'00,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000 001-5'000 000
1era Etapa	CBR %	M_R 2555xCBR^0.64	5 cm 22 cm (*)	5 cm 28 cm (*)	6 cm 30 cm (*)	6 cm 20 cm 15 cm (*)	6 cm 23 cm 15 cm (*)	7 cm 25 cm 15 cm (*)	8 cm 30 cm 15 cm (*)	9 cm 30 cm 18 cm (*)
	CBR< 6%	≤ 8,040 psi (55 4 MPa)								
2da Eta.	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	5 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76 9 MPa)	5 cm 22 cm	5 cm 28 cm	6 cm 30 cm	6 cm 20 cm 15 cm	6 cm 23 cm 15 cm	7 cm 25 cm 15 cm	8 cm 30 cm 15 cm	9 cm 30 cm 18 cm
2da Eta.	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	5 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76 9 MPa) ≤ 17,380 psi (119 8 MPa)	5 cm 18 cm	5 cm 23 cm	6 cm 23 cm	6 cm 27 cm	6 cm 29 cm	7 cm 17 cm 15 cm	8 cm 20 cm 16 cm	9 cm 25 cm 15 cm
2da Eta.	Refuerzo al año 10		4 cm	5 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	5 cm
1era Etapa	≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119 8 MPa) ≤ 22,530 psi (155 3 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 16 cm	6 cm 16 cm	6 cm 20 cm	6 cm 21 cm	7 cm 22 cm	8 cm 25 cm	9 cm 26 cm
2da Eta.	Refuerzo al año 10		Micropavimento e=2 5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	CBR≥ 30%	> 22,530 psi (155 3 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 16 cm	6 cm 18 cm	7 cm 18 cm	8 cm 20 cm	9 cm 21 cm
2da Eta.	Refuerzo al año 10		Mortero Asfáltico e=1 2 cm	Micropavimento e=2 5 cm	Micropavimento e=2 5 cm	4 cm	4 cm	5 cm	5 cm	5 cm

Figura N° 12.6

Carpeta y/o Refuerzo Asfáltico en Caliente (CAC)

Base Granular

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos

Figura Nº 12.7

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON REFUERZO

PERIODO DE DISEÑO POR ETAPAS 10 AÑOS

Nrep de EE (2)			Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Nrep EE hasta 10 años (1era Etapa)			2 000 001-3 000 000	3 000 001-4 000 000	4 000 001-5 000 000	5 000 001-6 000 000	6 000 001-8 000 000	8 000 001-10 000 000	10'000 001-12 000 000
Nrep EE Total 20 años (2da Etapa)			5 000 001-7 500 000	7 500 001 10 000 000	10 000 001-12 500 000	12 500 001-15 000 000	15 000 001-20 000 000	20'000,001-25 000 000	25 000 001-30 000 000
1era Etapa	CBR %	M_R 2555xCBR	10 cm 30 cm 22 cm (*)	10 cm 35 cm 21 cm (*)	11 cm 35 cm 21 cm (*)	11 cm 35 cm 24 cm (*)	12 cm 35 cm 25 cm (*)	13 cm 35 cm 30 cm (*)	13 cm 37 cm 31 cm (*)
	CBR< 6%	≤ 8 040 psi (55 4 MPa)							
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	5 cm	5 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 6% CBR < 10%	> 8 040 psi (55 4 MPa) ≤ 11 150 psi (76 9 MPa)	10 cm 30 cm 22 cm	10 cm 35 cm 21 cm	11 cm 35 cm 21 cm	11 cm 35 cm 24 cm	12 cm 35 cm 25 cm	13 cm 35 cm 30 cm	13 cm 37 cm 31 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	5 cm	5 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 10% CBR < 20%	> 11 150 psi (76 9 MPa) ≤ 17 380 psi 119 8 MPa)	10 cm 25 cm 17 cm	10 cm 30 cm 16 cm	11 cm 30 cm 15 cm	11 cm 33 cm 15 cm	12 cm 35 cm 15 cm	13 cm 35 cm 20 cm	13 cm 35 cm 20 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	5 cm	5 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 20% CBR < 30%	> 17.380 psi (119 8 MPa) ≤ 22 530 psi (155 3 MPa)	10 cm 30 cm	10 cm 20 cm 15 cm	11 cm 20 cm 15 cm	11 cm 20 cm 15 cm	12 cm 22 cm 15 cm	13 cm 25 cm 15 cm	13 cm 25 cm 16 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		5 cm	5 cm	5 cm	6 cm	5 cm	5 cm	6 cm
1era Etapa	CBR > 30%	> 22 530 psi (155 3 MPa)	10 cm 23 cm	10 cm 26 cm	11 cm 26 cm	11 cm 27 cm	12 cm 15 cm 15 cm	13 cm 17 cm 15 cm	13 cm 20 cm 15 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	5 cm	5 cm	6 cm	5 cm	6 cm	5 cm

Figura N° 12.7

Carpeta y/o Refuerzo Asfáltico en Caliente (CAC)

Base Granular

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán ~~será~~ definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos



12.2.4

Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible con carpeta de mezcla asfáltica en caliente para volúmenes de tránsito de 75,000 EE a 30'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años



Figura Nº 12.8

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS



Figura N° 12.8

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
		75,001-150,000	150.001-300 000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'00,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
CBR %	M_R $2555xCBR^{0.64}$								
CBR< 6%	≤ 8,040 psi (55 4 MPa)	5 cm 25 cm (*)	6 cm 28 cm (*)	6 cm 20 cm 15 cm (*)	7 cm 20 cm 16 cm (*)	8 cm 20 cm 16 cm (*)	8 cm 25 cm 17 cm (*)	9 cm 25 cm 23 cm (*)	9 cm 30 cm 24 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150psi (76 9 MPa)	5 cm 25 cm	6 cm 28 cm	6 cm 20 cm 15 cm	7 cm 20 cm 16 cm	8 cm 20 cm 16 cm	8 cm 25 cm 17 cm	9 cm 25 cm 23 cm	9 cm 30 cm 24 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119 8 MPa)	5 cm 20 cm	6 cm 23 cm	6 cm 26 cm	7 cm 27 cm	8 cm 7 cm	8 cm 20 cm 15 cm	9 cm 23 cm 15 cm	10 cm 26 cm 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155 3 MPa)	5 cm 15 cm	6 cm 16 cm	6 cm 19 cm	7 cm 19 cm	8 cm 19 cm	8 cm 23 cm	9 cm 26 cm	10 cm 28 cm
CBR≥ 30%	> 22,530 psi (155 3 MPa)	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	7 cm 15 cm	8 cm 15 cm	8 cm 18 cm	9 cm 20 cm	10 cm 22 cm

Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)

Base Granular

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Nota: 1, (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos, previo tratamiento del Pavimento existente.





Figura Nº 12.9

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

Figura N° 12.9

CBR %	M_R 2555xCBR	Tp8 5 000 001-7 500 000	Tp9 7 500 001-10 000 000	Tp10 10 000 001-12 500 000	Tp11 12 500 001-15 000 000	Tp12 15 000 001-20 000 000	Tp13 20 000 001-25 000 000	Tp14 25 000 001-30 000 000
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	11 cm / 30 cm / 26 cm / (*)	12 cm / 35 cm / 21 cm / (*)	13 cm / 35 cm / 22 cm / (*)	14 cm / 35 cm / 21 cm / (*)	15 cm / 35 cm / 22 cm / (*)	16 cm / 40 cm / 22 cm / (*)	17 cm / 40 cm / 22 cm / (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	11 cm / 30 cm / 26 cm	12 cm / 35 cm / 21 cm	13 cm / 35 cm / 22 cm	14 cm / 35 cm / 21 cm	15 cm / 35 cm / 22 cm	16 cm / 40 cm / 22 cm	17 cm / 40 cm / 22 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	11 cm / 30 cm / 15 cm	12 cm / 30 cm / 15 cm	13 cm / 30 cm / 16 cm	14 cm / 30 cm / 15 cm	15 cm / 30 cm / 16 cm	16 cm / 30 cm / 21 cm	17 cm / 30 cm / 21 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	11 cm / 31 cm	12 cm / 31 cm	13 cm / 31 cm	14 cm / 31 cm	15 cm / 31 cm	16 cm / 22 cm / 15 cm	17 cm / 22 cm / 15 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	11 cm / 24 cm	12 cm / 24 cm	13 cm / 24 cm	14 cm / 24 cm	15 cm / 24 cm	16 cm / 27 cm	17 cm / 27 cm

Leyenda:
- Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)
- Base Granular
- Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos, previo tratamiento del Pavimento existente.

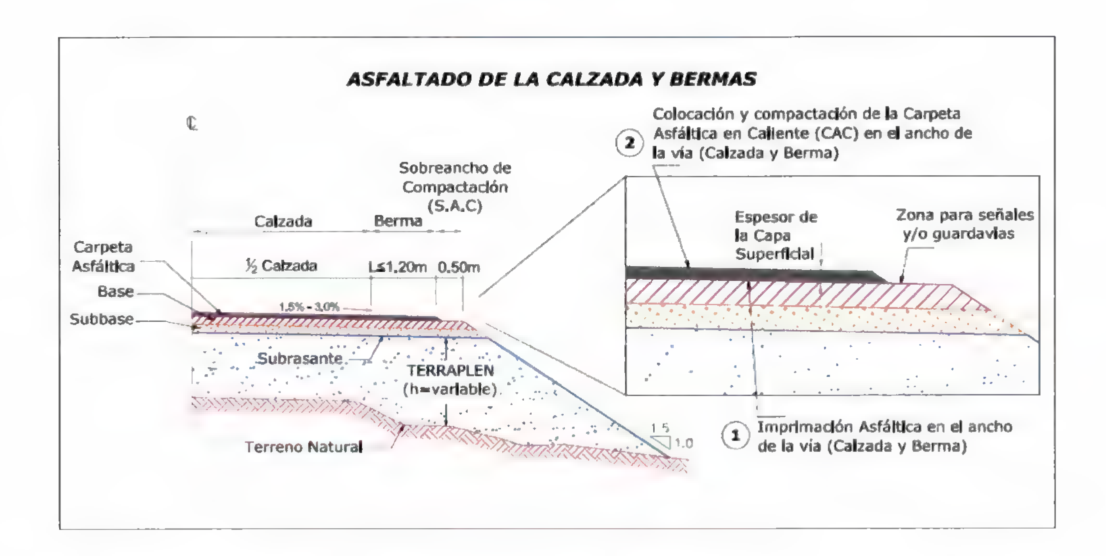


12.3 Bermas del pavimento flexible

Las bermas componen parte unívoca del pavimento a ser diseñado, manteniendo los mismos componentes estructurales. El propósito de las bermas es proporcionar un soporte lateral adecuado del borde del pavimento de la calzada e impedir la rotura de los bordes, asimismo incrementa la seguridad del usuario y con el ancho adecuado permite un refugio apropiado para los vehículos averiados.

Salvo justificación en contrario, las bermas de ancho igual o menor a 1.20 m será la prolongación de la estructura del pavimento de la calzada. Su ejecución será simultánea, sin junta longitudinal entre el pavimento y la berma.

Figura 12.10
BERMAS L≤1.20m

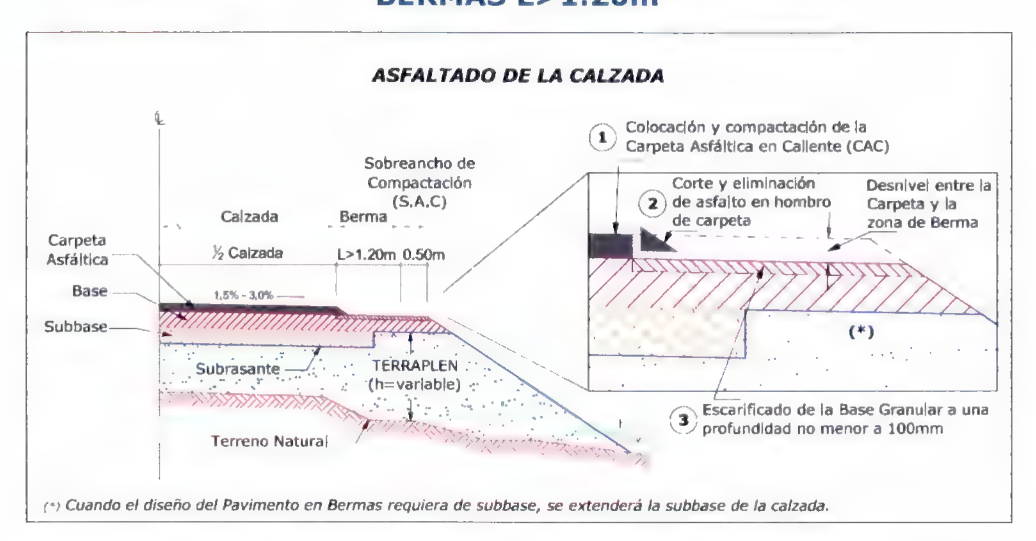


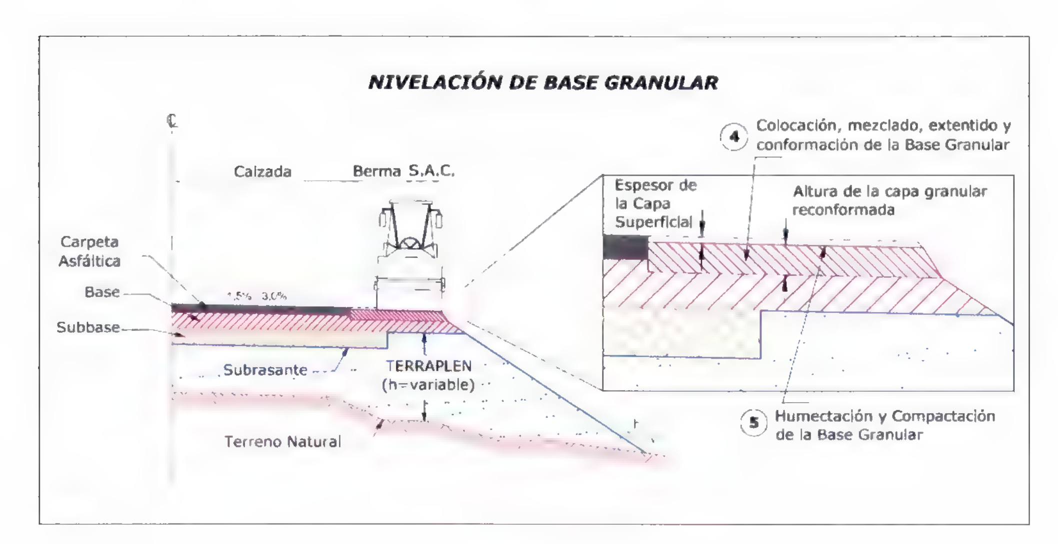
En bermas de ancho superior a 1.20 m, la estructura de la berma dependerá de la categoría del tráfico prevista para el pavimento y de la sección adoptada en esta. Para el cálculo de su número estructural de diseño, se utilizará el 5% del total de Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes para el carril de diseño y el valor de CBR o el Mr de diseño de la calzada. La capa superficial será similar al de la calzada.

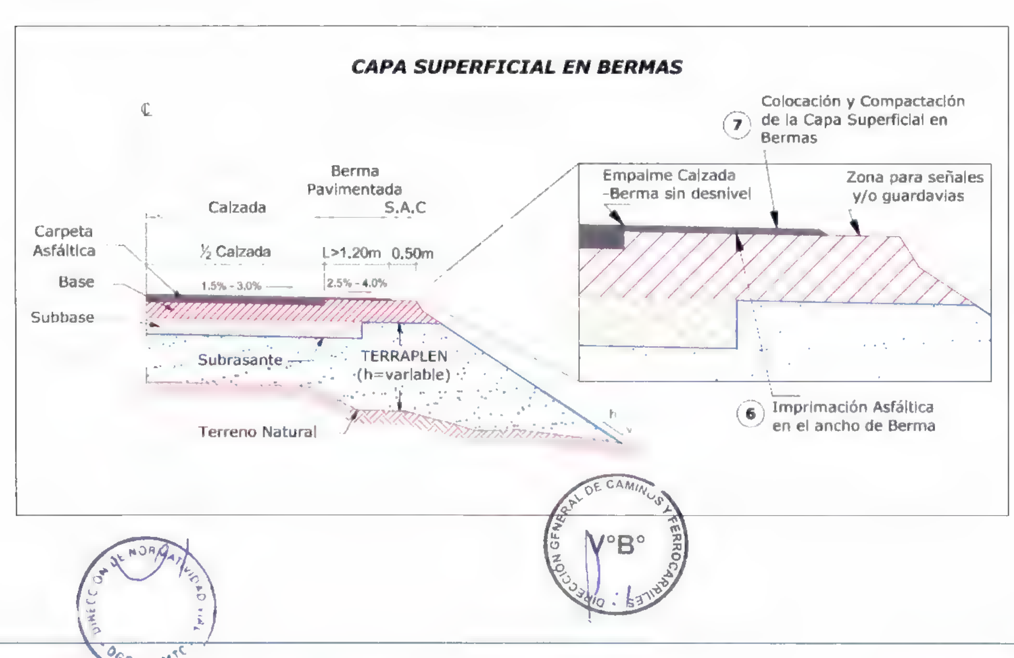


DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

Figura 12.11
BERMAS L>1.20m







Cuando se trate de calzadas con capas superficiales de carpeta asfáltica en caliente, la capa superficial de las bermas podrá ser de carpeta asfáltica en caliente, carpeta asfáltica en frío, macadam asfáltico o micropavimento de 25 mm.

Los espesores mínimos recomendados de carpeta asfáltica en caliente, según el tipo de tráfico calculado para las bermas, serán los siguientes:

Cuadro 12.19
Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial Base Granular para Bermas

Trafico	Ejes equivalentes acumulados en Bermas		Capa Superficial	Base Granular
T_{PB0}	≤ 150,000		Carpeta Asfáltica en Caliente: 40mm	150 mm
T_{PB1}	150,001	300,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
T_{PB2}	300,001	500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
T_{PB3}	500,001	750,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
T_{PB4}	750 001	1,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
T_{PB5}	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
T_{PB6}	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

El espesor mínimo constructivo en carpeta asfáltica en caliente es 40 mm; por lo que de resultar un menor espesor al indicado, se podrá emplear como capa superficial de la berma, su equivalente estructural en espesor de carpeta asfáltica en frío, macadam asfáltico o un micropavimento de 25 mm.

Para los siguientes casos particulares, el pavimento en bermas se diseña con las mismas características de la estructura del pavimento de la calzada:

a) Cuando en determinados casos, teniendo en cuenta las condiciones del tráfico, la geometría de la carretera y especialmente el clima frío y la altitud mayor a 3000 msnm, las bermas deberán tener la misma estructura del pavimento de la calzada aprovechando las ventajas constructivas y permitiendo así, darle soporte lateral y protección a la estructura del pavimento de la calzada.

b) En caso de tráfico importante, donde el Ingeniero diseñador responsable ha previsto el uso eventual de las bermas como carriles adicionales.





c) Cuando la estructura de pavimento esté compactada por una base tratada con asfalto, con cal o con cemento, la carpeta asfáltica de la berma tendrá el mismo espesor de la carpeta asfáltica de rodadura de la calzada.

Para fijar los espesores de las capas que componen la berma se tendrá en cuenta la distribución de capas del pavimento de la calzada, a fin de coordinar su construcción. Si a mediano plazo fuera previsible ensanchar el pavimento a costa de la berma, se procurará adoptar una solución con capas y espesores adaptados a dicha previsión.

Por exigencias de seguridad de la circulación vial, las bermas empalmarán con la misma rasante que la calzada, de manera que no haya un escalón entre ambas superficies. Se admitirá un desnivel entre calzada y berma de hasta 15 mm en sólo el 10% de la longitud de la berma.

En el caso de que la calzada dispusiera de una capa o elemento inferior drenante o de separación, estos se prolongarán bajo la berma hasta conectar con un sistema de drenaje adecuado.

12.4 Refuerzo del pavimento flexible

Este acápite se aplica en los estudios y proyectos de refuerzo o renovación superficial de pavimentos flexibles existentes. Sólo será aplicable a refuerzos y capas de pavimento que se proyecten con los materiales considerados en el capítulo 11, cuando los materiales sean diferentes de los considerados en el capítulo 11, deberán justificarse las soluciones adoptadas.

12.4.1 Necesidad de Refuerzo del Pavimento

La necesidad de refuerzo de un pavimento flexible, puede determinarse por lo siguiente:

a. Insuficiencia estructural del pavimento: definida en base a una evaluación superficial y estructural del pavimento. En este caso, el refuerzo resulta necesario por haberse cumplido o estar próximo a cumplir la vida útil del pavimento.

b. Crecimiento del tráfico mayor al previsto: el tráfico es una de las variables del diseño de pavimentos, y un incremento mayor al previsto hace necesario el análisis para la aplicación de un refuerzo.

c. Costos de Conservación excesivos: está relacionado con el planteamiento de una estrategia de conservación vial del pavimento, donde se han fijado las políticas o actividades de conservación y determinado las intervenciones y los costos de conservación rutinaria y periódica del pavimento para el periodo de su vida útil. La aplicación de las actividades de conservación en cantidades mayores a las previstas generará mayores costos de conservación y es un indicativo de que el comportamiento del pavimento no está de acuerdo al previsto; en tal sentido, es necesario el análisis para la aplicación de un refuerzo.

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL DGCF

12.4.2 Factores Básicos para Definir el Refuerzo del Pavimento

El refuerzo del pavimento debe permitir prolongar su vida útil para resistir la acción del tráfico proyectado, en condiciones de serviciabilidad adecuada y con los costos de conservación de acuerdo a lo previsto para el tipo de carretera y pavimento.

Los factores básicos para definir el refuerzo del pavimento son los siguientes:

- Estado superficial del pavimento
- Capacidad estructural del pavimento existente, determinada mediante mediciones de deflexiones.
- Necesidad de regularización superficial del pavimento existente, transversal y/o longitudinal.
- Estructura del pavimento existente
- Naturaleza y estado de la plataforma del camino (cortes y rellenos)
- Estado del sistema de drenaje de la carretera (superficial y subterráneo)
- Tráfico pesado acumulado previsible para el nuevo periodo de diseño.
- Ensanche o ampliación del pavimento existente, que obligue reforzar la estructura existente.
- Desvío de tráfico sobre un pavimento donde no estaba previsto la circulación de tráfico pesado o es mayor al previsto.
- Tipos de materiales a emplear en el refuerzo.

12.4.3 Tráfico para el refuerzo del pavimento

La estructura del pavimento a reforzar o renovar superficialmente dependerá del número y características de los vehículos pesados que se prevea vayan a circular por el carril de diseño durante el periodo del proyecto. Este periodo será como mínimo de 5 años y como máximo de 10 años.

Para la determinación del tráfico de diseño se seguirán los criterios indicados en el capítulo 6 Tráfico Vial del presente Manual. Es decir efectuando los estudios de tráfico, con conteos volumétricos clasificados por tipo de vehículos, carga por eje, proyección y definición del número de ejes equivalentes de 8.2 t sobre el carril de diseño en el periodo de diseño.

12.4.4 Fallas en el Pavimento

La incidencia de factores de distinto origen determinan alteraciones de la superficie de rodadura de los pavimentos flexibles que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro.

El propósito fundamental de la renovación superficial y el refuerzo, es corregir los defectos de la superficie de rodadura del pavimento existente, que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro, para alcanzar un grado de serviciabilidad adecuado durante un periodo de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión requerida.

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

Las causas de defectos o fallas en el pavimento son de distinto origen y naturaleza, de los cuales mencionamos los siguientes:

- Exagerado incremento de las cargas circulantes: ya sea en peso o en frecuencia, con respecto a las previstas en el diseño original, y que se traducen en un infradiseño.
- Deficiencias en el proceso constructivo: espesores menores que los previstos, elaboración inadecuada de las mezclas y estabilizaciones, deficiencias en el proceso de distribución, compactación o terminación, factores todos que traen como consecuencia una disminución de la calidad de los materiales y un debilitamiento estructural del pavimento.
- Proyecto deficiente: que da lugar a espesores menores de lo que realmente requiere la carretera.
- Factores climáticos regionales: excesivamente desfavorables o que no pudieron preverse en el proyecto y/o construcción, tales como la elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencias del drenaje superficial o subterráneo proyectado, variaciones térmicas externas, fenómenos de congelamiento, presencia de sales nocivas, etc.
- Deficiente conservación vial: por escasez de equipos, de fondos o de personal capacitado; por empleo de materiales y/o técnicas inadecuadas; o bien, por falta total de conservación.

La identificación de la causa más probable de una determinada falla, es de fundamental importancia para la evaluación de la misma, aunque muchas veces resulte de difícil apreciación. Para tal fin, puede tenerse en cuenta primariamente la localización de la misma, su evolución en los distintos sectores del tramo, la consideración de los factores tráfico – clima - drenaje, etc. La comprobación definitiva podrá obtenerse una vez finalizados los estudios de evaluación estructural

La apreciación de las causas de las fallas observadas debe conducir a la diferenciación de dos casos globales en los que debe identificarse la falla analizada:

- Fallas superficiales: comprende los defectos de la superficie de rodadura debido a fallas de la capa asfáltica superficial propiamente dicha y no guardan relación con la estructura del pavimento.
- Fallas estructurales: comprende los defectos de la superficie de rodadura cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir afecta a una o más capas del pavimento.

Las fallas de tipo superficial se corrigen regularizando la superficie y confiriéndole la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Ello se logra con capas asfálticas delgadas que poco aportan estructuralmente, fresados y capas nivelantes.

En cambio cuando se trata de fallas estructurales, es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente (previa reparación de las fallas detectadas y de ser necesario de fresados y capas nivelantes) o una reconstrucción para que el conjunto responda a las exigencias del tráfico presente y futuro.

12.4.5 Serviciabilidad – Regularidad Superficial

La satisfacción de los usuarios se manifiesta, fundamentalmente, por la calidad en que se encuentra la superficie de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial.

AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural.

Para el efecto introdujo el concepto de Present Serviciability Index (PSI), que fue derivado de una encuesta efectuada en la década del 60 entre usuarios de carreteras en los Estados Unidos.

El Present Serviciability Index o la serviciabilidad fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal).

Cuadro 12.20
Escala de Índice de Serviciabilidad

Indice de Serviciabilidad	Calidad
5	Muy Buena
4	
3	Buena
2	Regula
1	Mala
0	Pesima

Fuente: Guia AASHTO

La calificación del estado de un pavimento a través del PSI o el Índice de Serviciabilidad es el resultado de una apreciación visual de la condición superficial de un pavimento.

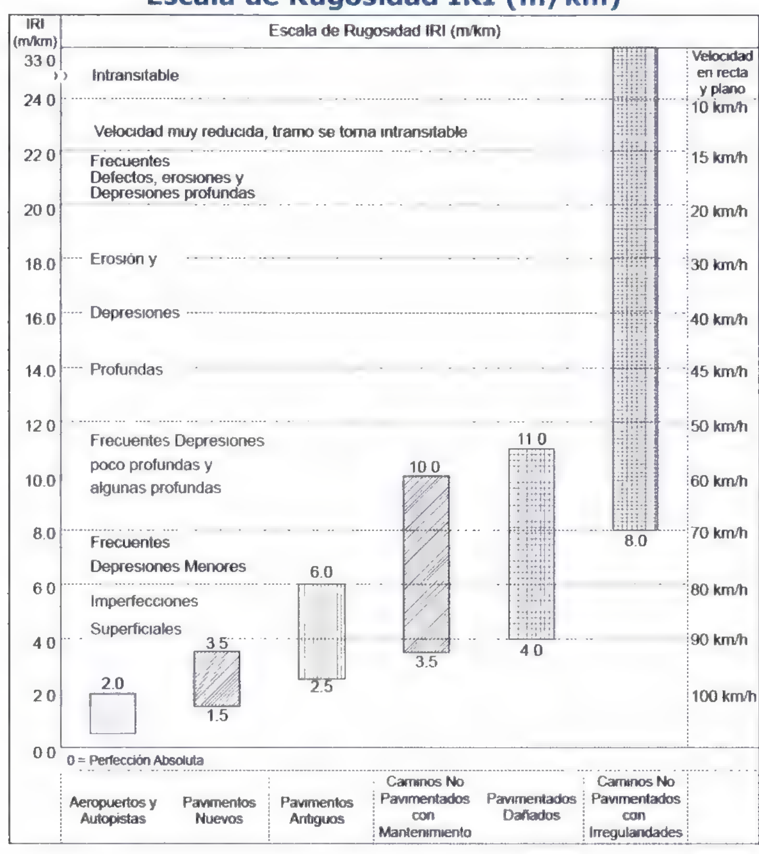
A partir del estudio Brasil (GEIPOT, 1982; Paterson, 1987), se evaluaron y modelaron los efectos físicos de deterioro y mantenimiento del pavimento, definiéndose un nuevo indicador, que se denominó Índice de Rugosidad Internacional o IRI, que representa la regularidad superficial de un pavimento y afecta la operación vehicular, en cuanto a seguridad, confort, velocidad de viaje y desgaste de partes del vehículo.

Los estudios del Banco Mundial permiten determinar la rugosidad tanto con equipos debidamente calibrados, como a partir de evaluaciones visuales que relacionan el tipo y estado general del pavimento con la velocidad de operación de los vehículos.

V°B°

A continuación se presenta un gráfico (traducido y adaptado de "Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements", Sayers M.W., Gillespie T.D., Paterson W.D; World Bank Technical Paper Number No 46, 1986), donde se muestra escalas de rugosidad para distintos tipos de pavimento y condición.

Figura 12.12
Escala de Rugosidad IRI (m/km)



La medición de rugosidades se efectuará de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

Para la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y de un pavimento existente reforzado, asimismo para la rugosidad durante el periodo de servicio, se recomienda los siguientes valores:



Cuadro 12.21
Rugosidad Inicial IRI m/km
Según Tipo de Carretera con Carpeta Asfáltica en Caliente

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 85%

12.4.6 Evaluación Estructural por Deflectometría

La evaluación superficial se complementa con la evaluación estructural mediante la medición de deflexiones con equipos. Asimismo, en muchos casos es necesario recurrir también a la realización de calicatas, sondeos, toma de muestras y ensayos de laboratorio para verificar las hipótesis deducidas de la evaluación superficial.

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o solicitación.

La deflexión es una medida de la respuesta del conjunto "pavimento – sub rasante" frente a una determinada solicitación, indicando la adecuabilidad del pavimento desde el punto de vista estructural.

La medición de deflexiones se efectuará según lo especificado en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC. Una vez efectuadas las mediciones se elaborará un deflectograma, que permitirá analizar la variabilidad de la capacidad estructural del pavimento existente, para finalmente determinar los sectores de características o comportamiento homogéneo, definiendo para cada sector homogéneo la correspondiente deflexión característica, que es el valor que mejor representa un determinado sector.

Dirección de Normatividad Vial DGCyF - MTC
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles V°B°

Cuadro 12.22
Definición de Deflexión Característica Según Tipo de Carretera

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	Dc = Dm + 1.645xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	Dc = Dm + 1.645xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.645xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.282xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.282xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	Dc = Dm + 1.036xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota: Dc = Deflexión característica, Dm = Deflexión media, ds = desviación estándar

Las deflexiones se comparan con el valor límite admisible, que es la deflexión tolerable que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar. Para el presente manual se ha adoptado la relación propuesta para el paquete estructural del pavimento, por CONREVIAL (Estudio de Rehabilitación de Carreteras del País. MTC-Perú):

$$Dadm = (1.15/N)^{0.25}$$

Donde:

Dadm = Deflexión admisible en mm (a comparar con deflexiones viga Benkelman)

N = Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones







Figura 12.13
GRAFICO DE DEFLEXIONES ADMISIBLES

$$N = \frac{1.90}{D_{cr}^{5.3}}$$

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N}\right)^{0.25}$$

Condición Crítica

Condición Inicial o Admisible

Deflexión adm (1/100 mm): 300, 200, 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10

Ejes Equivalentes (millones): 0.10, 0.50, 1.00, 5.00, 10.00, 50.00

Donde:
N: Número de Repeticones de EE, en millones (Carril de diseño)

Fuente: Elaboracion propia en base al Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el Pais - CONREVIAL

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

Las deflexiones características y admisibles, se comparan mediante un análisis combinado de los resultados de la evaluación, presentándose una serie posibilidades que merecen ser analizadas para finalmente establecer la capacidad estructural del pavimento existente en relación al tráfico y cargas circulantes, definiendo sí la estructura del pavimento es adecuada y sólo requiere de una renovación superficial; o, se encuentra fatigada y requiere un refuerzo estructural; o, es una estructura deficiente y requiere una reconstrucción parcial o total.

Para la diferenciación de casos que podrían presentarse en el análisis de la evaluación se presenta el siguiente cuadro, el mismo que compara la deflexión característica con la admisible, en función del tráfico futuro:

Cuadro 12.23
Análisis Combinado de los Resultados de la Evaluación

<table>
<tr><th>PRIMER PASO</th><th>SEGUNDO PASO</th><th>TERCER PASO</th><th>CUARTO PASO</th><th>CASOS</th></tr>
<tr><td rowspan="6">1° La deflexión característica resulta:</td><td>SUPERIOR
2° Hay fallas de origen estructural?</td><td colspan="2">NO:
Estructura infradiseñada para el tráfico previsto</td><td>PRIMER CASO
Pavimento necesita con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="2">SÍ:
3° Existe una capa débil inmediata debajo de las capas asfálticas?</td><td>NO:
Las fallas se deben a otra causas</td><td>SEGUNDO CASO
Este es el paso avanzado del primer caso, cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias</td></tr>
<tr><td></td><td>SÍ:
Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80m)</td><td>TERCER CASO
Está caracterizado por la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentra apoyo suficiente y sea mayor a la que le correspondería en ausencia del espesor débil.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">IGUAL O INFERIOR
2° Hay fallas de origen estructural?</td><td colspan="3">NO:
Corregir fallas de origen superficial</td></tr>
<tr><td rowspan="2">SÍ:
3° De qué tipo?</td><td>Fallas por fatiga (piel de cocodrilo)
Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80 m)
Capa débil inmediatamente debajo de las asfálticas</td><td>TERCER CASO
En este caso los radios de curvatura de la linea de deflexión son reducidos y el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo es posible aún con deflexiones admisibles</td></tr>
<tr><td>Fallas por deformación permanente de la fundación que se traducen en depresiones, ahuellamiento marcado (mayor a 12 mm), ondulaciones, etc</td><td>CUARTO CASO
Se caracteriza por el desarrollo de deformaciones permanentes, en particular ahuellamiento en la zona de canalización del tráfico, no atribuibles a desplazamientos plásticos de las capas asfálticas por deficiente estabilidad o compactación, es decir que afectan a toda la estructura. Se trata por lo general de pavimentos antiguos que han sido reforzados con capas asfálticas de espesor suficiente para evitar las fallas por fatiga pero insuficientes para compensar la debilidad de la fundación original.

En estos casos las medidas de deflexión pueden no ser significativas, aquí lo más importantes es apreciar el valor portante de la fundación y el aporte estructural que aún puede prestar el pavimento original y las capas asfálticas de refuerzo existentes.</td></tr>
</table>

Fuente: Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País - CONREVIAL

Como resultado de estos estudios y del análisis de la magnitud, severidad y frecuencia de las degradaciones superficiales, se determinarán los sectores que requieren de trabajos de renovación superficial, refuerzo estructural o reconstrucción parcial o total.

12.4.7 Renovación Superficial

La renovación superficial de un pavimento consiste en restaurar sus características superficiales, no tiene por objeto aumentar la capacidad resistente del pavimento, aun cuando en determinados casos pueda mejorar su capacidad estructural.

Las condiciones que justifican una renovación superficial de un tramo de carretera son las siguientes:

1) No es necesario un refuerzo, pero el estado superficial del pavimento presenta deficiencias que afectan a la seguridad vial, la comodidad del usuario o la durabilidad del pavimento. Entre estas deficiencias se cita las siguientes:

Pavimento deslizante por pulido o por falta de macrotextura

Cuadro 12.24
Textura Superficial

Textura Superficial	Superficie de Rodadura Tratamiento Superficial		Superficie de Rodadura Mezcla Asfáltica	
	Textura (mm)	Coeficiente de Fricción (SCRIM a 50 km/h)	Textura (mm)	Coeficiente de Fricción (SCRIM a 50 km/h)
Buena	1.50	0.60	0.70	0.50
Regular	0.70	0.45	0.50	0.40
Mala (superficie resbaladiza)	0.30	0.30	0.30	0.30

Fuente: HDM4 Tabla de parámetros globales

- Pavimento deformado longitudinal o transversalmente, con una rugosidad (IRI) inadecuada.
- Pavimento fisurado, cuya estructura no presenta deficiencias.

2) Realizada la tramificación, se evidencian tramos cortos, que no requieren refuerzo ni renovación superficial, pero al estar adyacente a otros tramos que sí lo necesitan, resulta necesario, por razones funcionales, aplicar una renovación superficial para obtener una homogeneidad de la capa de rodadura. Este criterio se hace extensivo a los tramos donde se evidencie por alguna razón justificada, que en el corto plazo será necesario un refuerzo o renovación superficial.

Los procedimientos de renovación superficial se clasifican en tres grupos:

a) Con aporte de material:

- Mezcla asfáltica
- Micropavimento
- Tratamientos superficiales



- Sellos o Lechadas asfálticas
- Otros procedimientos, cuya posible utilización deberá ser analizada en cada caso.

b) Con sustitución de material:

Supone la remoción de la capa o capas afectadas y su sustitución por otras nuevas de características adecuadas.

La técnica de remoción de capas más utilizada es el fresado. Este procedimiento suele emplearse en el caso de pavimentos con ahuellamientos por deformación plástica de sus mezclas bituminosas. El ahuellamiento en la superficie de rodadura, es una depresión longitudinal a lo largo de las huellas de canalización del tránsito, de longitud mayor de 6m, pueden subdividirse en:

i. Ahuellamiento de pequeño radio de influencia, cuya causa principal se debe a un espesor insuficiente para el tránsito.
ii. Ahuellamiento de gran radio de influencia, cuya causa principal se debe a la falta de estabilidad del suelo de fundación / pavimento.

Para definir la magnitud del ahuellamiento, se recomienda los siguientes valores:

Cuadro 12.25
Magnitud del Ahuellamiento (mm)

DESCRIPCIÓN	ESCASA	MODERADA	SEVERA
Ahuellamiento (mm)	< 6 mm	6 a 12 mm	> 12 mm

Fuente: Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País - CONREVIAL

c) Por tratamiento de la superficie del pavimento, se presentan algunas reparaciones típicas recomendadas por AASHTO:

Cuadro 12.26
Reparaciones y Procedimiento Preventivos para Pavimento Flexible (AASHTO 93)

DETERIORO	REPARACIONES	PROCEDIMIENTOS PREVENTIVOS
Fisuras en piel de cocodrilo	Reparación en espesor total	Sellado de fisuras
Exudación	Aplicar arena caliente	
Fisuras en bloque	Sellado de fisuras	
Depresión	Capa Nivelante	
Agregados pulidos	Resistencia al deslizamiento Tratamiento superficial. Sello	
Baches	Parchado Profundo	Sellado de fisuras y sellos de capa
Bombeo	Parchado Profundo	Sellado de fisuras y sellos de capa
Descascaramiento y oxidación	Sellos de capa	Sello o Lechada Asfáltica rejuvenecedor
Ahuellamiento	Capa Nivelante y Fresado en frio	
Abultamiento	Remoción y reemplazo	Impermeabilización de la berma

12.4.7 Refuerzo de pavimentos flexibles

Para el cálculo de refuerzos de pavimentos flexibles se ha utilizado como parámetro fundamental la deflexión del pavimento; no obstante, si bien es empleada como indicador de debilidad estructural, finalmente es la observación de la condición del pavimento, manifestada a través de las fallas o defectos en su superficie, quien indica la necesidad de llevar a cabo un refuerzo.

El refuerzo recomendado en este manual es un refuerzo de mezcla asfáltica en caliente, que se aplicará cuando se presenten el primero y segundo caso del análisis combinado de la evaluación estructural. Para el tercer y cuarto caso, el Ingeniero Proyectista podrá utilizar otras metodologías, llevando a cabo una evaluación de la capacidad portante y el análisis estructural de las capas del pavimento existente, definiendo la reducción de su capacidad por el deterioro de las capas del pavimento; en este caso es importante la ejecución de calicatas y ensayos de laboratorio que contribuirán en el análisis para determinar el refuerzo o la reconstrucción de ser necesario.

El catálogo de espesores de refuerzo asfáltico, presenta una zona donde los espesores de refuerzo son mayores a 150mm y las deflexiones son altas, para estos casos se recomienda realizar un estudio especial. Este estudio requerirá, en general, la realización de calicatas y toma de muestras de los materiales de las capas del pavimento y de la sub rasante para su ensayo y calificación en el laboratorio; asimismo, verificarán los espesores de las capas, grado de compactación, humedad, etc.

En el refuerzo de los pavimentos aparecen algunos problemas constructivos, cuyo detenido estudio debe ser la base para la adopción de la solución más correcta en cada caso; por ejemplo, considerar:

- El mantenimiento del tráfico durante la ejecución de los trabajos en condiciones aceptables, puede ser causa determinante de la elección del tipo de refuerzo.
- Sí el pavimento está muy deformado, será necesario fresarlo o reperfilarlo antes del refuerzo o mediante la aplicación de una primera capa nivelante
- El aumento de espesor de la calzada crea un desnivel con las bermas, que por seguridad vial deben ser también niveladas.
- Como se ha indicado anteriormente, en el acápite de renovación superficial, previo al refuerzo debe repararse la capa superficial del pavimento existente.
- Debe analizarse la probable reflexión de fisuras y su atenuación.
- También debe tenerse en cuenta las posibles mejoras de drenaje.
- La solución de los eventuales problemas que puedan presentarse en ensanches del pavimento, en pequeñas correcciones de trazado y en la ejecución de bermas.

Para los pavimentos flexibles no se utilizarán soluciones de refuerzo con capas granulares sin tratar, el Ingeniero Proyectista podrá proponer otras soluciones de refuerzo, como el refuerzo con pavimento de concreto hidráulico. En este caso, se tendrá en cuenta que el pavimento flexible existente será la base del

nuevo pavimento de concreto hidráulico, y requiere de una preparación previa, considerando lo siguiente:

- De ser el caso, se procederá a la mejora del drenaje.
- Reparaciones localizadas
- De ser necesario se efectuarán ensanches de la calzada y bermas
- Barrido enérgico de la superficie asfáltica existente.
- De ser el caso se colocará una capa nivelación de mezcla asfáltica o con base tratada con cemento o en todo caso se fresará la capa asfáltica para eliminar las irregularidades de la superficie asfáltica.
- Finalmente la superficie asfáltica existente debe quedar lo suficientemente homogénea y estable para servir de base de apoyo al pavimento de concreto hidráulico.
- El espesor de refuerzo con pavimento de concreto o rígido, será calculado para un periodo mínimo de 20 años.




Figura N° 12.14

CATALOGO CON REFUERZO DE PAVIMENTO FLEXIBLE



Dc (1/100 mm) \ EE	Tp0 75,001-150,000	Tp1 150,001-300,000	Tp2 300,001-500,000	Tp3 500,001-750,000	Tp4 750,001-1'000,000	Tp5 1'000,001-1'500,000	Tp6 1'500,001-3'000,000	Tp7 3'000,001-5'000,000
< 20								
20-40								
40-60	RENOVACION SUPERFICIAL MEDIANTE SELLOS ASFALTICOS O MORTEROS ASFALTICOS							
60-80							Micropavimento e=25mm	Micropavimento e=25mm
80-100						Micropavimento e=25mm	4cm	7cm
100-120				Micropavimento e=25mm	Micropavimento e=25mm	4cm	7cm	9cm
120-140		Micropavimento e=25mm	Micropavimento e=25mm	4cm	5cm	6cm	9cm	12cm
140-160		Micropavimento e=25mm	4cm	5cm	6cm	8cm	11cm	14cm
160-180	Micropavimento e=25mm	4cm	5cm	7cm	8cm	10cm	13cm	15cm
180-200	Micropavimento e=30mm	5cm	7cm	8cm	9cm	11cm	14cm	ESTUDIO ESPECIAL

Refuerzo con Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)

Fuente: Elaboración propia en base a CONREVIAL

Nota:
1. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
2. Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; Y Rugosidad, al menos una medición cada dos años.
3. Evaluaciones Estructurales del pavimento: Deflexiones, se efectuarán al menos una medición cada cuatro años.
4. Refuerzo con Mezcla Asfáltica en Caliente, colocado previa reparación de fisuras, grietas, baches, fresado y/o colocación de capa nivelante.



Figura 12.15

CATALOGO DE REFUERZOS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

Dc (1/100 mm) \ EE	Tp8 5'000,001-7'500,000	Tp9 7'500,001-10'000,000	Tp10 10'000,001-12'500,000	Tp11 12'500,001-15'000,000	Tp12 15'000,001-20'000,000	Tp13 20'000,001-25'000,000	Tp14 25'000,001-30'000,000
≤ 20	RENOVACION SUPERFICIAL MEDIANTE SELLOS ASFALTICOS O MORTEROS ASFALTICOS						
20–40							
40–60		Micropavimento e=25mm	Micropavimento e=25mm	Micropavimento e=25mm	4cm	5cm	6cm
60–80	5cm	6cm	7cm	8cm	10cm	11cm	12cm
80–100	8cm	10cm	11cm	12cm	14cm	15cm	
100–120	11cm	13cm	14cm	15cm			
120–140	14cm	15cm					
140–160	ESTUDIO ESPECIAL						
160–180							
180–200							

Refuerzo con Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)

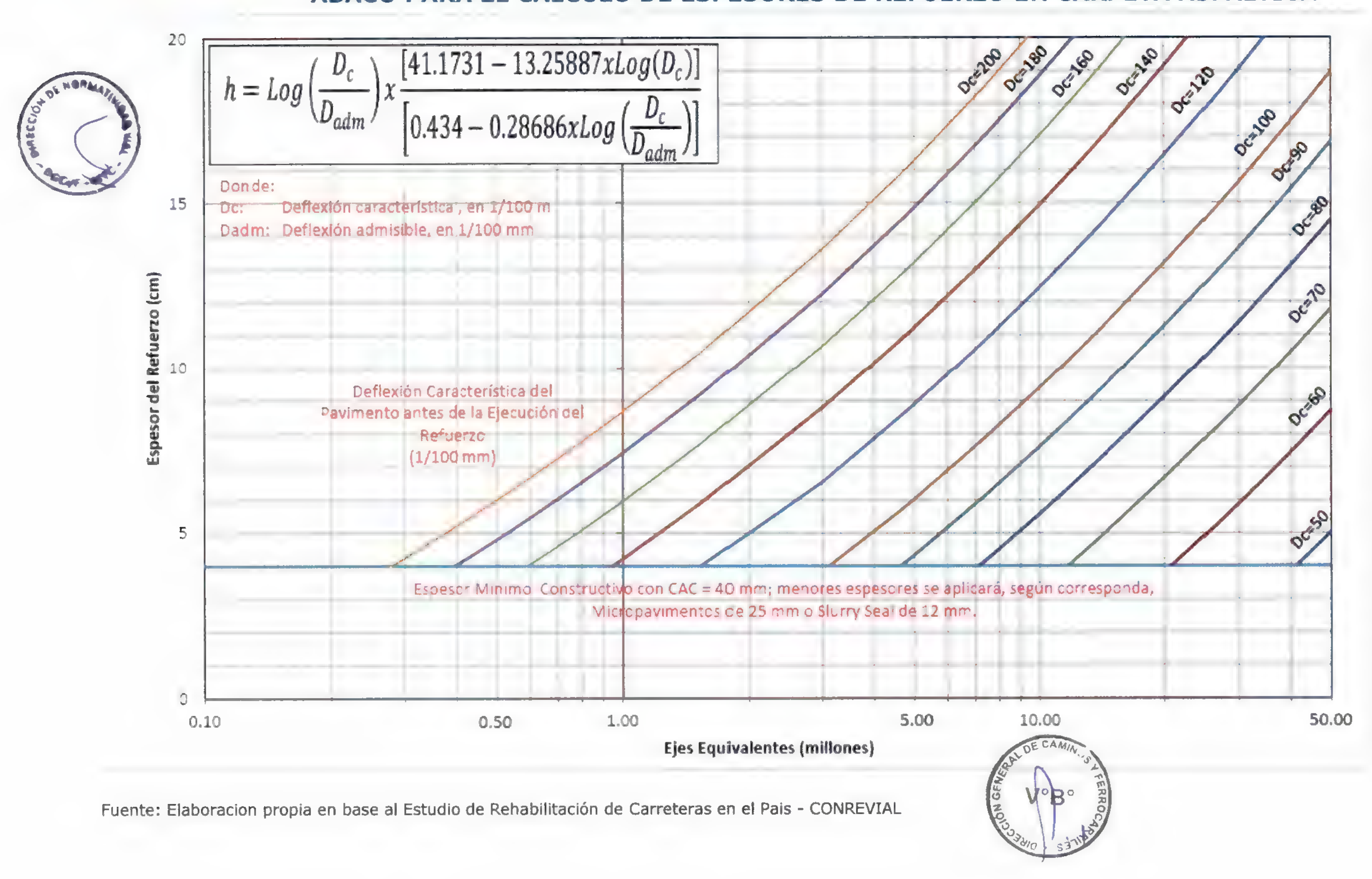
Fuente: Elaboración propia en base a CONREVIAL

Nota:
1. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
2. Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año;
   Y Rugosidad, al menos una medición cada dos años.
3. Evaluaciones Estructurales del pavimento: Deflexiones, se efectuarán al menos una medición cada cuatro años.
4. Refuerzo con Mezcla Asfáltica en Caliente, colocado previa reparación de fisuras, grietas, baches, fresado y/o colocación de capa nivelante.



Figura 12.16

ABACO PARA EL CALCULO DE ESPESORES DE REFUERZO EN CARPETA ASFALTICA



Fuente: Elaboracion propia en base al Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el Pais - CONREVIAL

CAPÍTULO XIII

PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS





PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS

Comprende los pavimentos cuya estructura está compuesta por una capa asfáltica y bases tratadas con asfalto, con cemento y con cal, esta solución se recomienda aplicar sobre sub rasantes de categoría buena o con CBR ≥ 20% y para tráficos mayores a 1'000,000 de EE.

En este tipo de pavimentos semirrígidos el Manual incluye los adoquines de concreto, que son pavimentos que en este manual se recomienda utilizar en los tramos donde la carretera atraviese poblados y para tráficos menores o iguales a 15'000,0000 de EE.

13.1 Pavimento semirrígido con carpeta asfáltica y base tratada

13.1.1 Parámetros de diseño

Para los diseños de los pavimentos semirrígidos con carpeta asfáltica en caliente y base tratada, el presente manual mantiene los criterios de diseño especificados para los pavimentos flexibles en el **Capitulo 12**. Se respetan los espesores mínimos de carpeta asfáltica en caliente, según rangos de tráfico (ver **Cuadro 12.1**), y a partir de ello se determina el espesor necesario de base tratada, cumpliendo así con el numero estructural requerido por la estructura del pavimento.

1) Se aplica a caminos que tienen un tránsito mayor de 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño. En este caso el manual contempla como periodo de diseño 20 años, considerando en dos etapas de 10 años y en una sola etapa de 20 años.

2) Se aplica sobre sub rasantes de categoría buena o con CBR ≥ 20%, sobre la cual se coloca la base tratada con asfalto, con cemento o con cal. En este tipo de pavimento semirrígido no se han considerado capas granulares de base o subbase.

Con base en estos dos parámetros, tránsito expresado en ejes equivalentes (EE) y CBR de sub rasante correlacionado con módulo resilente, se definirán las secciones de pavimento que se encuentran especificadas en los catálogos de estructuras de pavimento semirrígido.

Los coeficientes estructurales utilizados en este manual para las capas del pavimento semirrígido son:



Cuadro 13.1
Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento a_i

Componente del Pavimento	Coeficiente	Valor Coeficiente Estructural a_i (cm)	Observación
Capa Superficial			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base			
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm²)	a_{2b}	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm²)	a_{2c}	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

13.1.2 Secciones de la Estructura del Pavimento Semirrígido

Para determinar las secciones de estructuras de pavimento flexible, se consideraron los siguientes espesores mínimos recomendados:

Cuadro 13.2
Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial Asfáltica

Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Capa Superficial
T_{P5}	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm
T_{P6}	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm
T_{P7}	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm
T_{P8}	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm
T_{P9}	7,500,001	10'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm
T_{P10}	10'000,001	12'500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm
T_{P11}	12'500,001	15'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 130mm
T_{P12}	15'000,001	20'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 140mm
T_{P13}	20'000,001	25'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm
T_{P14}	25'000,001	30'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm



Fuente: Elaboración Propia, estimado en base a datos de la Guía AASHTO'93

Las secciones de estructuras de pavimento flexible, que se recomiendan en el Manual, están en función al tipo de suelos (rango de CBR de diseño) y el tráfico vial expresado en número de ejes equivalentes, son las siguientes:

13.1.2a Catálogos de Números Estructurales (SN) adoptados por tipo de tráfico y de sub rasante.

13.1.2b Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con asfalto, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

13.1.2c Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con cemento, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

13.1.2d Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con cal, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

13.1.2e Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con asfalto, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

13.1.2f Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con cemento, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

13.1.2g Secciones Ilustrativas y Referenciales de Estructuras de Pavimento Flexible con base tratada con cal, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente. No sustituye al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

13.1.2ª

Catálogos de Números Estructurales (SN) adoptados por tipo de tráfico y de sub rasante







Cuadro 13.3

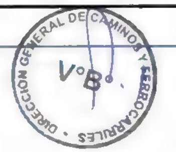
CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) ADOPTADOS POR TIPOS DE TRAFICO Y SUB RASANTE

Periodo de Diseño 20 años Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Tratada con Asfalto + Subbase Granular

CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE - Periodo de diseño 20 años
Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Tratada con Asfalto + Subbase Granular

TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula 6 % ≤ CBR < 10 %	Buena 10 % ≤ CBR < 20 %	Muy Buena 20 % ≤ CBR < 30 %	Excelente CBR ≥ 30 %
T_P0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.170	1.950	1.950	1.950
T_P1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.670	2.230	2.120	2.120
T_P2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.780	2.450	2.120	2.120
T_P3 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			3.060	2.620	2.229	2.290
T_P4 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.230	2.790	2.460	2.460
T_P5 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.560	3.120	3.010	3.010
T_P6 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.730	3.400	3.180	3.180
T_P7 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.280	3.900	3.350	3.350
T_P8 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.730	4.180	3.520	3.520
T_P9 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.900	4.350	3.690	3.690
T_P10 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.180	4.630	3.970	3.860
T_P11 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.350	4.800	4.140	4.030
T_P12 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.520	4.970	4.310	4.200
T_P13 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			6.020	5.470	4.590	4.370
T_P14 25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.190	5.640	4.760	4.540

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)





Cuadro 13.4

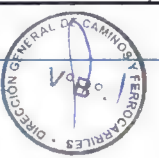
CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) ADOPTADOS POR TIPOS DE TRAFICO Y SUB RASANTE

Periodo de Diseño 20 años Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Tratada con Cemento + Subbase Granular

CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE - Periodo de Diseño 20 años
Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Tratada con Cemento + Subbase Granular

TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula 6 % ≤ CBR < 10 %	Buena 10 % ≤ CBR < 20 %	Muy Buena 20 % ≤ CBR < 30 %	Excelente CBR ≥ 30 %
TP0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.210	2.050	2.050	2.050
TP1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.620	2.220	2.220	2.220
TP2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.860	2.460	2.220	2.220
TP3 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			3.030	2.630	2.390	2.390
TP4 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.200	2.800	2.560	2.560
TP5 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.760	3.280	2.960	2.960
TP6 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.930	3.450	3.130	3.130
TP7 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.235	3.940	3.300	3.300
TP8 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.669	4.110	3.470	3.470
TP9 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.839	4.440	3.640	3.640
TP10 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.150	4.610	3.970	3.810
TP11 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.320	4.780	4.140	3.980
TP12 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.490	4.950	4.310	4.150
TP13 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			6.055	5.425	4.640	4.320
TP14 25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.225	5.595	4.810	4.490

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)







Cuadro 13.5

CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) ADOPTADOS POR TIPOS DE TRAFICO Y SUB RASANTE

Periodo de Diseño 20 años Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Tratada con Cal + Subbase Granular

CATALOGO DE NÚMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUB RASANTE - Periodo de Diseño 20 años
Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Tratada con Cal + Subbase Granular

TIPO SUB RASANTE / CLASE DE TRANSITO	Inadecuada CBR < 3 % (*)	Pobre 3 % ≤ CBR < 6 % (*)	Regula 6 % ≤ CBR < 10 %	Buena 10 % ≤ CBR < 20 %	Muy Buena 20 % ≤ CBR < 30 %	Excelente CBR ≥ 30 %
T_P0 75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.250	1.900	1.900	1.900
T_P1 150,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.560	2.210	2.070	2.070
T_P2 300,000 < Rep. EE ≤ 500,000			2.770	2.420	2.070	2.070
T_P3 500,000 < Rep. EE ≤ 750,000			3.080	2.590	2.240	2.240
T_P4 750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			3.250	2.760	2.410	2.410
T_P5 1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			3.460	3.110	2.760	2.760
T_P6 1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			3.985	3.420	2.930	2.930
T_P7 3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000			4.220	3.800	3.240	3.100
T_P8 5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000			4.700	4.255	3.550	3.270
T_P9 7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000			4.870	4.425	3.720	3.440
T_P10 10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000			5.134	4.595	3.890	3.610
T_P11 12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000			5.304	4.765	4.060	3.780
T_P12 15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000			5.474	4.935	4.230	3.950
T_P13 20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000			5.995	5.340	4.610	4.260
T_P14 25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000			6.165	5.510	4.780	4.430

(*) Previa a la colocación de la estructura del pavimento, se requiere Estabilización de suelos, que sera materia de Estudio Especial
- Con el Suelo Estabilizado la estructura del pavimento a colocar, Corresponderá a la de un Suelo Regular (CBR≥6% a CBR<10%)

13.1.2b

Secciones de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con asfalto, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente







Figura 13.1

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON ASFALTO

PERIODO DE DISEÑO POR ETAPAS 10 AÑOS

Nrep de EE (2)			Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
Nrep EE hasta 10 años (1era Etapa)			60,000	60,001-120,000	120,001-200,000	200,001-300,000	300,001-400,000	400,001-600,000	600,001-1'200,000	1'200,001-2'000,000
Nrep EE hasta 20 años (2da Etapa)			75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'000,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
1era Etapa	CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$								
1era Etapa	CBR< 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	5 cm 11 cm (*)	5 cm 15 cm (*)	6 cm 15 cm (*)	6 cm 16 cm (*)	6 cm 18 cm (*)	7 cm 15 cm 15 cm (*)	8 cm 15 cm 15 cm (*)	9 cm 16 cm 15 cm (*)
2da Eta	Refuerzo al año 10		4 cm	Micropavimento e=3.0 cm	4 cm	6 cm	5 cm	Micropavimento e=2.5 cm	5 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	5 cm 11 cm	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 16 cm	6 cm 18 cm	7 cm 15 cm 15 cm	8 cm 15 cm 15 cm	9 cm 16 cm 15 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		4 cm	Micropavimento e=3.0 cm	4 cm	6 cm	5 cm	Micropavimento e=2.5 cm	5 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	5 cm 10 cm	5 cm 11 cm	6 cm 11 cm	6 cm 13 cm	6 cm 15 cm	7 cm 15 cm	8 cm 17 cm	9 cm 18 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Micropavimento e=2.5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	4 cm	5 cm	5 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm 10 cm	5 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	7 cm 15 cm	8 cm 15 cm	9 cm 15 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Mortero Asfáltico e=1.2 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Micropavimento e=3.0 cm	6 cm	Mortero Asfáltico e=1.2 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Micropavimento e=2.5 cm
1era Etapa	CBR≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm 10 cm	5 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	7 cm 15 cm	8 cm 15 cm	9 cm 15 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Mortero Asfáltico e=1.2 cm	Mortero Asfáltico e=1.2 cm	Mortero Asfáltico e=1.2 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Micropavimento e=2.5 cm	Mortero Asfáltico e=1.2 cm	Mortero Asfáltico e=1.2 cm	Mortero Asfáltico e=1.2 cm

Carpeta y/o Refuerzo Asfáltica en Caliente (CAC)

Base Tratada con Asfalto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.

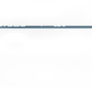




Figura 13.1a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON ASFALTO

PERIODO DE DISEÑO POR ETAPAS 10 AÑOS

Nrep de EE (2)			Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Nrep EE hasta 10 años (1era Etapa)			2 000 001-3 000 000	3 000 001-4'000 000	4 000 001-5 000,000	5'000 001-6'000 000	6'000 001-8'000 000	8'000 001-10'000 000	10'000 001-12 000 000
Nrep EE Total 20 años (2da Etapa)			5 000,001-7 500,000	7 500,001-10 000,000	10 000,001-12 500 000	12 000,001-15 000 000	15 000 001-20'000 000	20 000 001-25 000 000	25 000 001-30 000 000
1era Etapa	CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$	10 cm 22 cm 18 cm (*)	10 cm 25 cm 17 cm (*)	11 cm 25 cm 18 cm (*)	11 cm 25 cm 21 cm (*)	12 cm 25 cm 23 cm (*)	13 cm 27 cm 25 cm (*)	13 cm 28 cm 25 cm (*)
	CBR< 6%	≤ 8,040 psi (55 4 MPa)							
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 6% CBR < 10%	> 8 040 psi (55 4 MPa) ≤ 11,150 psi (76 9 MPa)	10 cm 22 cm 18 cm	10 cm 25 cm 17 cm	11 cm 25 cm 18 cm	11 cm 25 cm 21 cm	12 cm 25 cm 23 cm	13 cm 27 cm 25 cm	13 cm 28 cm 25 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 10% CBR < 20%	> 11 150 psi (76 9 MPa) ≤ 17,380 psi (119 8 MPa)	10 cm 27 cm	10 cm 30 cm	11 cm 30 cm	11 cm 20 cm 18 cm	12 cm 20 cm 20 cm	13 cm 22 cm 20 cm	13 cm 25 cm 20 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	5 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	5 cm
1era Etapa	≥ 20% CBR < 30%	> 17 380 psi (119 8 MPa) ≤ 22,530 psi (155 3 MPa)	10 cm 20 cm	10 cm 22 cm	11 cm 22 cm	11 cm 23 cm	12 cm 24 cm	13 cm 25 cm	13 cm 27 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		5 cm	5 cm	5 cm	6 cm	5 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	CBR≥ 30%	> 22,530 psi (155 3 MPa)	10 cm 20 cm	10 cm 20 cm	11 cm 20 cm	11 cm 20 cm	12 cm 20 cm	13 cm 20 cm	13 cm 22 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Micropavimento e = 2 5 cm	Micropavimento e = 3 0 cm	Micropavimento e = 3 0 cm	4 cm	4 cm	6 cm	6 cm

Carpeta y/o Refuerzo Asfáltico en Caliente

Base Tratada con Cemento

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.



13.1.2c

Secciones de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con cemento, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente

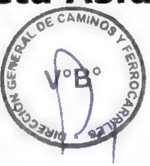





Figura 13.2

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON CEMENTO

PERIODO DE DISEÑO POR ETAPAS 10 AÑOS

Nrep de EE (2)			Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
Nrep EE hasta 10 años (1era Etapa)			60 000	60 001-120 000	120,001-200 000	200,001-300,000	300 001-400,000	400 001-600 000	600 001-1 200,000	1 200 001-2 000 000
Nrep EE Total 20 años (2da Etapa)			75 001-150 000	150 001-300 000	300 001-500 000	500 001-750 000	750 001-1 000 000	1 000 001-1 500 000	1'500 001-3 000 000	3 000 001-5 000 000
1era Etapa	CBR %	M_R 2555xCBR[0.64]								
1era Etapa	CBR< 6%	≤ 8,040 psi (55 4 MPa)	5 cm 15 cm (*)	5 cm 20 cm (*)	6 cm 20 cm (*)	6 cm 22 cm (*)	6 cm 25 cm (*)	7 cm 25 cm (*)	8 cm 20 cm 15 cm (*)	9 cm 20 cm 17 cm (*)
2da Eta	Refuerzo al año 10		4 cm	Micropavimento e = 3 0 cm	4 cm	6 cm	4 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55 4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 20 cm	6 cm 20 cm	6 cm 22 cm	6 cm 25 cm	7 cm 25 cm	8 cm 20 cm 15 cm	9 cm 20 cm 17 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		4 cm	Micropavimento e = 3 0 cm	4 cm	6 cm	4 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76 9 MPa) ≤ 17,380 psi (119 8 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 18 cm	6 cm 20 cm	7 cm 20 cm	8 cm 25 cm	9 cm 25 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Micropavimento e = 2 5 cm	5 cm	6 cm	5 cm	5 cm	6 cm	4 cm	5 cm
1era Etapa	≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119 8 MPa) ≤ 22,530 psi (155 3 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	7 cm 20 cm	8 cm 20 cm	9 cm 20 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Mortero Asfáltico e = 2 5 cm	4 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Micropavimento e = 2 5 cm	Micropavimento e = 3 0 cm
1era Etapa	CBR≥ 30%	> 22,530 psi (155 3 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	7 cm 20 cm	8 cm 20 cm	9 cm 20 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Micropavimento e = 2 5 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm	Mortero Asfáltico e = 1 2 cm

- Carpeta y/o Refuerzo Asfáltico en Caliente CAC
- Base Tratada con Cemento
- Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

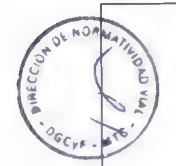
Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

Figura 13.2a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON CEMENTO

PERIODO DE DISEÑO POR ETAPAS 10 AÑOS



Nrep de EE (2)			Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Nrep EE hasta 10 años (1era Etapa)			2 000 001-3 000 000	3 000 001-4'000,000	4 000,001-5 000,000	5 000,001-6 000,000	6 000,001-8'000 000	8'000 001-10'000 000	10'000 001-12'000 000
Nrep EE Total 20 años (2da Etapa)			5 000 001-7 500 000	7'500,001-10'000 000	10'000 001-12'500 000	12'000,001-15'000 000	15 000 001-20 000 000	20'000,001-25 000 000	25 000,001-30'000 000
1era Etapa	CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$							
1era Etapa	CBR< 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	10 cm 22 cm 18 cm (*)	10 cm 25 cm 17 cm (*)	11 cm 25 cm 18 cm (*)	11 cm 25 cm 21 cm (*)	12 cm 25 cm 23 cm (*)	13 cm 27 cm 25 cm (*)	13 cm 28 cm 25 cm (*)
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55 4 MPa) ≤ 11,150 psi (76 9 MPa)	10 cm 22 cm 18 cm	10 cm 25 cm 17 cm	11 cm 25 cm 18 cm	11 cm 25 cm 21 cm	12 cm 25 cm 23 cm	13 cm 27 cm 25 cm	13 cm 28 cm 25 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76 9 MPa) ≤ 17,380 psi (119 8 MPa)	10 cm 27 cm	10 cm 30 cm	11 cm 30 cm	11 cm 20 cm 18 cm	12 cm 20 cm 20 cm	13 cm 22 cm 20 cm	13 cm 25 cm 20 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	5 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	5 cm
1era Etapa	≥ 20% CBR < 30%	> 17 380 psi (119 8 MPa) ≤ 22,530 psi (155 3 MPa)	10 cm 20 cm	10 cm 22 cm	11 cm 22 cm	11 cm 23 cm	12 cm 24 cm	13 cm 25 cm	13 cm 27 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		5 cm	5 cm	5 cm	6 cm	5 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	CBR≥ 30%	> 22,530 psi (155 3 MPa)	10 cm 20 cm	10 cm 20 cm	11 cm 20 cm	11 cm 20 cm	12 cm 20 cm	13 cm 20 cm	13 cm 22 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Micropavimento e = 2 5 cm	Micropavimento e = 3 0 cm	Micropavimento e = 3 0 cm	4 cm	4 cm	6 cm	6 cm

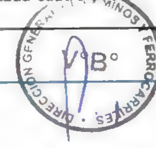
Carpeta y/o Refuerzo Asfáltico en Caliente

Base Tratada con Cemento

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.



13.1.2d

Secciones de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con cal, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en dos etapas de 10 años (total 20 años). Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente





Figura 13.3

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON CAL

PERIODO DE DISEÑO POR ETAPAS 10 AÑOS

Nrep de EE (2)			Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
Nrep EE hasta 10 años (1era Etapa)			60 000	60,001-120,000	120,001-200,000	200 001-300,000	300,001-400,000	400,001-600,000	600,001-1'200 000	1'200 001-2'000 000
Nrep EE hasta 20 años (2da Etapa)			75,001-150 000	150,001-300 000	300,001-500 000	500,001-750 000	750,001-1'000 000	1'000,001-1'500 000	1'500,001-3'000 000	3'000,001-5'000 000
1era Etapa	CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$								
1era Etapa	CBR< 6%	≤ 8,040 psi (55 4 MPa)	5 cm 17 cm (*)	5 cm 22 cm (*)	6 cm 22 cm (*)	6 cm 25 cm (*)	6 cm 27 cm (*)	7 cm 30 cm (*)	8 cm 25 cm 15 cm (*)	9 cm 25 cm 15 cm (*)
2da Eta	Refuerzo al año 10		5 cm	4 cm	5 cm	6 cm	6 cm	5 cm	4 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76 9 MPa)	5 cm 17 cm	5 cm 22 cm	6 cm 22 cm	6 cm 25 cm	6 cm 27 cm	7 cm 30 cm	8 cm 25 cm 15 cm	9 cm 25 cm 15 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		5 cm	4 cm	5 cm	6 cm	6 cm	5 cm	4 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76 9 MPa) ≤ 17,380 psi (119 8 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 17 cm	6 cm 17 cm	6 cm 20 cm	6 cm 22 cm	7 cm 23 cm	8 cm 28 cm	9 cm 28 cm
2da Eta.	Refuerzo al año 10		Micropavimento e=2 5 cm	5 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	4 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119 8 MPa) ≤ 22,530 psi (155 3 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 18 cm	7 cm 18 cm	8 cm 18 cm	9 cm 22 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Mortero Asfáltico e=1 2 cm	Micropavimento e=2 5 cm	Micropavimento e=2 5 cm	4 cm	Micropavimento e=3 0 cm	4 cm	6 cm	4 cm
1era Etapa	CBR≥ 30%	> 22,530 psi (155 3 MPa)	5 cm 15 cm	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	7 cm 20 cm	8 cm 20 cm	9 cm 20 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Mortero Asfáltico e=1 2 cm	Mortero Asfáltico e=1 2 cm	Mortero Asfáltico e=1 2 cm	Micropavimento e=2 5 cm	Micropavimento e=3 0 cm	Mortero Asfáltico e=1 2 cm	Micropavimento e=2 5 cm	Micropavimento e=2 5 cm

Carpeta y/o Refuerzo Asfáltica en Caliente (CAC)

Base Tratada con Cal

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.



Figura 13.3a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON CAL

PERIODO DE DISEÑO POR ETAPAS 10 AÑOS

Nrep de EE (2)			Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Nrep EE hasta 10 años (1era Etapa)			2 000,001-3'000 000	3'000 001-4'000 000	4'000 001-5 000 000	5'000,001-6 000 000	6'000 001-8 000 000	8 000 001-10 000 000	10 000 001-12 000 000
Nrep EE Total 20 años (2da Etapa)			5 000 001-7'500 000	7'500 001-10'000 000	10'000 001-12'500 000	12 500 001-15'000 000	15'000 001-20 000 000	20 000 001-25 000,000	25 000 001-30 000 000
1era Etapa	CBR %	M_R 2555xCBR[0.64]	10 cm 25 cm 18 cm (*)	10 cm 25 cm 23 cm (*)	11 cm 25 cm 24 cm (*)	11 cm 28 cm 25 cm (*)	12 cm 28 cm 25 cm (*)	13 cm 30 cm 25 cm (*)	13 cm 30 cm 28 cm (*)
	CBR< 6%	≤ 8,040 psi (55 4 MPa)							
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	5 cm	5 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 6% CBR < 10%	> 8 040 psi (55 4 MPa) ≤ 11,150 psi (76 9 MPa)	10 cm 25 cm 18 cm	10 cm 25 cm 23 cm	11 cm 25 cm 24 cm	11 cm 28 cm 25 cm	12 cm 28 cm 25 cm	13 cm 30 cm 25 cm	13 cm 30 cm 28 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	5 cm	5 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76 9 MPa) ≤ 17,380 psi (119 8 MPa)	10 cm 30 cm	10 cm 23 cm 15 cm	11 cm 23 cm 15 cm	11 cm 23 cm 18 cm	12 cm 25 cm 17 cm	13 cm 25 cm 20 cm	13 cm 25 cm 23 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
1era Etapa	≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119 8 MPa) ≤ 22,530 psi (155 3 MPa)	10 cm 22 cm	10 cm 25 cm	11 cm 25 cm	11 cm 27 cm	12 cm 27 cm	13 cm 30 cm	13 cm 30 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	6 cm
1era Etapa	CBR≥ 30%	> 22 530 psi (155 3 MPa)	10 cm 20 cm	10 cm 20 cm	11 cm 20 cm	11 cm 22 cm	12 cm 22 cm	13 cm 25 cm	13 cm 25 cm
2da Eta	Refuerzo al año 10		Micropavimento e=3 0 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	4 cm	6 cm

- Carpeta y/o Refuerzo Asfáltica en Caliente (CAC)
- Base Tratada con Cal
- Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.



13.1.2e

Secciones de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con asfalto, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente





Figura 13.4
CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON ASFALTO
PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'000,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$								
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	5 cm 12 cm (*)	6 cm 15 cm (*)	6 cm 16 cm (*)	7 cm 17 cm (*)	8 cm 17 cm (*)	8 cm 20 cm (*)	9 cm 20 cm (*)	9 cm 25 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	5 cm 12 cm	6 cm 15 cm	6 cm 16 cm	7 cm 17 cm	8 cm 17 cm	8 cm 20 cm	9 cm 20 cm	9 cm 25 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	5 cm 10 cm	6 cm 11 cm	6 cm 13 cm	7 cm 13 cm	8 cm 13 cm	8 cm 16 cm	9 cm 17 cm	10 cm 20 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	7 cm 10 cm	8 cm 10 cm	8 cm 15 cm	9 cm 15 cm	10 cm 15 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm 10 cm	6 cm 10 cm	6 cm 10 cm	7 cm 10 cm	8 cm 10 cm	8 cm 15 cm	9 cm 15 cm	10 cm 15 cm

Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)

Base Tratada con Asfalto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.



Figura 13.4a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON ASFALTO

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
		5'000,001-7'500,000	7'500,001-10'000,000	10'000,001-12'500,000	12'500,001-15'000,000	15'000,001-20'000,000	20'000,001-25'000,000	25'000,001-30'000,000
CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$							
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	11 cm / 26 cm / (*)	12 cm / 26 cm / (*)	13 cm / 27 cm / (*)	14 cm / 27 cm / (*)	15 cm / 27 cm / (*)	16 cm / 30 cm / (*)	17 cm / 30 cm / (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	11 cm / 26 cm	12 cm / 26 cm	13 cm / 27 cm	14 cm / 27 cm	15 cm / 27 cm	16 cm / 30 cm	17 cm / 30 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	11 cm / 21 cm	12 cm / 21 cm	13 cm / 22 cm	14 cm / 22 cm	15 cm / 22 cm	16 cm / 25 cm	17 cm / 25 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	11 cm / 15 cm	12 cm / 15 cm	13 cm / 16 cm	14 cm / 16 cm	15 cm / 16 cm	16 cm / 17 cm	17 cm / 17 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	11 cm / 15 cm	12 cm / 15 cm	13 cm / 15 cm	14 cm / 15 cm	15 cm / 15 cm	16 cm / 15 cm	17 cm / 15 cm

Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)

Base Tratada con Asfalto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.

13.1.2f

Secciones de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con cemento, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente







Figura 13.5

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON CEMENTO

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'000,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
CBR %	M_R 2555xCBR$^{0.64}$								
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	5 cm 17 cm (*)	6 cm 20 cm (*)	6 cm 23 cm (*)	7 cm 23 cm (*)	8 cm 23 cm (*)	8 cm 30 cm (*)	9 cm 30 cm (*)	9 cm 25 cm 15 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	5 cm 17 cm	6 cm 20 cm	6 cm 23 cm	7 cm 23 cm	8 cm 23 cm	8 cm 30 cm	9 cm 30 cm	9 cm 25 cm 15 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 18 cm	7 cm 18 cm	8 cm 18 cm	8 cm 24 cm	9 cm 24 cm	10 cm 28 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	7 cm 15 cm	8 cm 15 cm	8 cm 20 cm	9 cm 20 cm	10 cm 20cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	5 cm 15 cm	6 cm 15 cm	6 cm 15 cm	7 cm 15 cm	8 cm 15 cm	8 cm 20 cm	9 cm 20 cm	10 cm 20 cm

Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)

Base Tratada en Cemento

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.

V°B° DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES





Figura 13.5a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON CEMENTO

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
		5 000 001-7 500 000	7'500,001-10'000,000	10'000,001-12'500,000	12'500,001-15'000,000	15'000 001-20'000,000	20'000,001-25'000,000	25'000 001-30 000,000
CBR %	M_R $2555xCBR^{0.64}$							
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55 4 MPa)	11 cm 25 cm 17 cm (*)	12 cm 25 cm 17 cm (*)	13 cm 25 cm 20 cm (*)	14 cm 25 cm 20 cm (*)	15 cm 25 cm 20 cm (*)	16 cm 27 cm 25 cm (*)	17 cm 27 cm 25 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8 040 psi (55 4 MPa) ≤ 11,150 psi (76 9 MPa)	11 cm 25 cm 17 cm	12 cm 25 cm 17 cm	13 cm 25 cm 20 cm	14 cm 25 cm 20 cm	15 cm 25 cm 20 cm	16 cm 27 cm 25 cm	17 cm 27 cm 25 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11 150 psi (76 9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	11 cm 28 cm	12 cm 30 cm	13 cm 30 cm	14 cm 30 cm	15 cm 30 cm	16 cm 25 cm 15 cm	17 cm 25 cm 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17 380 psi (119 8 MPa) ≤ 22,530 psi (155 3 MPa)	11 cm 20 cm	12 cm 20 cm	13 cm 22 cm	14 cm 22 cm	15 cm 22 cm	16 cm 24 cm	17 cm 24 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155 3 MPa)	11 cm 20 cm	12 cm 20 cm	13 cm 20 cm	14 cm 20 cm	15 cm 20 cm	16 cm 20 cm	17 cm 20 cm

Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)

Base Tratada con Cemento

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTo.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.



13.1.2g

Secciones de Estructuras de Pavimento Semirrígido con base tratada con cal, para caminos con más de 1'000,000 EE en el carril de diseño, periodo de diseño en una etapa de 20 años. Pavimento con Capa Superficial de Carpeta Asfáltica en Caliente



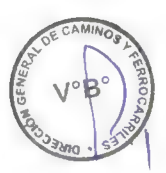




Figura 13.6

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON CAL

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp0 75,001-150,000	Tp1 150,001-300,000	Tp2 300,001-500,000	Tp3 500,001-750,000	Tp4 750,001-1'000,000	Tp5 1'000,001-1'500,000	Tp6 1'500,001-3'000,000	Tp7 3'000,001-5'000,000
CBR%	Mr $2555 \times CBR^{0.64}$								
CBR < 6%	< 8,040psi (55.4MPa)	5cm 20cm (*)	6cm 22cm (*)	6cm 25cm (*)	7cm 27cm (*)	8cm 27cm (*)	8cm 30cm (*)	9cm 25cm 15cm (*)	9cm 25cm 20cm (*)
> 6% CBR < 10%	> 8,040psi (55.4MPa) < 11,150psi (76.9MPa)	5cm 20cm	6cm 22cm	6cm 25cm	7cm 27cm	8cm 27cm	8cm 30cm	9cm 25cm 15cm	9cm 25cm 20cm
> 10% CBR < 20%	> 11,150psi (76.9MPa) < 17,380psi (119.8MPa)	5cm 15cm	6cm 17cm	6cm 20cm	7cm 20cm	8cm 20cm	8cm 25cm	9cm 27cm	10cm 30cm
> 20% CBR < 30%	> 17,380psi (119.8MPa) < 22,530psi (155.3MPa)	5cm 15cm	6cm 15cm	6cm 15cm	7cm 15cm	8cm 13cm	8cm 20cm	9cm 20cm	10cm 22cm
CBR > 30%	> 22,530psi (155.3MPa)	5cm 15cm	6cm 15cm	6cm 15cm	7cm 15cm	8cm 15cm	8cm 20cm	9cm 20cm	10cm 20cm

Leyenda:
- Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)
- Base Tratada con Cal
- Sub-base Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTO.

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
   c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

Figura 13.6a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON BASE TRATADA CON CAL

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
		5'000,001-7'500,000	7'500,001-10'000,000	10'000,001-12'500,000	12'500,001-15'000,000	15'000,001-20'000,000	20'000,001-25'000,000	25'000,001-30'000,000
CBR %	Mr $2555 \times CBR^{0.64}$							
CBR < 6%	≤ 8,040 psi (55.4 MPa)	11 cm 27 cm 20 cm (*)	12 cm 27 cm 20 cm (*)	13 cm 27 cm 22 cm (*)	14 cm 27 cm 22 cm (*)	15 cm 27 cm 22 cm (*)	16 cm 30 cm 25 cm (*)	17 cm 30 cm 25 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 8,040 psi (55.4 MPa) ≤ 11,150 psi (76.9 MPa)	11 cm 27 cm 20 cm	12 cm 27 cm 20 cm	13 cm 27 cm 22 cm	14 cm 27 cm 22 cm	15 cm 27 cm 22 cm	16 cm 30 cm 25 cm	17 cm 30 cm 25 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 11,150 psi (76.9 MPa) ≤ 17,380 psi (119.8 MPa)	11 cm 24 cm 15 cm	12 cm 24 cm 15 cm	13 cm 24 cm 15 cm	14 cm 24 cm 15 cm	15 cm 24 cm 15 cm	16 cm 24 cm 20 cm	17 cm 24 cm 20 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 17,380 psi (119.8 MPa) ≤ 22,530 psi (155.3 MPa)	11 cm 24 cm	12 cm 24 cm	13 cm 24 cm	14 cm 24 cm	15 cm 24 cm	16 cm 27 cm	17 cm 27 cm
CBR ≥ 30%	> 22,530 psi (155.3 MPa)	11 cm 20 cm	12 cm 20 cm	13 cm 20 cm	14 cm 20 cm	15 cm 20 cm	16 cm 22 cm	17 cm 22 cm

Carpeta Asfáltica en Caliente (CAC)

Base Tratada con Cal

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base a ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada dos años
b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada cuatro años.
c) Efectuar Renovación Superficial periódicamente mediante Sellos Asfálticos.

13.2 Bermas del pavimento semirrigido

Para las bermas del pavimento semirrígido el presente manual mantiene los criterios de diseño especificados para los pavimentos flexibles en el Capitulo 12, numeral 12.3.

13.3 Refuerzo del pavimento semirrígido

En los pavimentos semirrígidos, la deflexión benkelman no es criterio suficiente para determinar el refuerzo, pues será necesario estudiar los casos en que exista discrepancia entre los valores de la deflexión y el estado superficial del pavimento; por lo que se deberán efectuar calicatas para analizar las condiciones de las distintas capas del pavimento incluida la sub rasante, se obtendrán muestras y testigos para los ensayos de laboratorio de los materiales extraídos, determinando las características de las capas del pavimento y sub rasante.

La utilización de medición de deflexiones con deflectómetro de impacto (FWD) permitirá evaluar los módulos de las capas del pavimento incluida la sub rasante, y a partir de ello efectuar un retrocálculo. La comparación entre los módulos medidos por este procedimiento y los correspondientes a capas en buen estado permitirá estimar el comportamiento de las capas del pavimento existente y, por comparación con el dimensionamiento de un pavimento nuevo (siguiendo los criterios de diseño), se podrá determinar el refuerzo y su espesor. Para el análisis se tomará como periodo de diseño mínimo de 10 años y como máximo de 20 años.

Los espesores de refuerzo serán como mínimo los que corresponderían a un pavimento flexible con deflexiones iguales a la del pavimento semirrígido, según el acápite 12.4.7.

En los pavimentos semirrígidos al igual que los flexibles, no se utilizarán soluciones de refuerzo con capas granulares sin tratar, pero podrán reforzarse con un pavimento de concreto hidráulico, siguiendo los criterios mencionados en el acápite 12.4.7.

En el refuerzo de los pavimentos aparecen algunos problemas constructivos, cuyo detenido estudio debe ser la base para la adopción de la solución más correcta en cada caso; por ejemplo, considerar:

- El mantenimiento del tráfico durante la ejecución de los trabajos en condiciones aceptables, puede ser causa determinante de la elección del tipo de refuerzo.
- Previo al refuerzo debe repararse la capa superficial del pavimento existente.
- Sí el pavimento está muy deformado, será necesario fresarlo o reperfilarlo antes del refuerzo o mediante la aplicación de una primera capa nivelante.
- Debe analizarse la probable reflexión de fisuras y su atenuación.
- También debe tenerse en cuenta las posibles mejoras de drenaje.
- El aumento de espesor de la calzada crea un desnivel con las bermas, que por seguridad vial deben ser también niveladas.

- La solución de los eventuales problemas que puedan presentarse en ensanches del pavimento, en pequeñas correcciones de trazado y en la ejecución de bermas.

13.4 Pavimento semirrigido con adoquines de concreto

El pavimento de adoquines de concreto tiene sus raíces en los empedrados, que posteriormente evolucionaron hacia los adoquines de piedra, de madera y de arcilla. Finalmente con mejores tecnologías de fabricación se lograron los adoquines de concreto resistentes y duraderos con formas y texturas homogéneas, y de colores diversos.

13.4.1 Método de Diseño

Para el diseño de pavimento con adoquines de concreto, se propone el método de diseño del ICPI (Interloking Concrete Pavement Institute), que es un procedimiento simplificado que toma en cuenta las siguientes guías de diseño: "Structural Design of Concrete Block Pavements" (Rada, G.R., Smith, D.R., Miller, J.S., and Witczak,M.W.) y la Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO'93).

El método considera los siguientes factores de diseño:

a. Aspectos ambientales
b. Tráfico expresado en ejes equivalentes
c. Características de la Sub rasante
d. Materiales del pavimento

a. Aspectos ambientales

Dos aspectos que influyen sobre el pavimento son la humedad y la temperatura. La humedad afecta al suelo y las capas granulares del pavimento. Y la temperatura puede afectar la capacidad de carga, especialmente cuando se tiene base tratada con asfalto, también cuando hay temperaturas frías bajo 0°C y a la vez humedad, el congelamiento y descongelamiento tiene efectos negativos en el pavimento.

Estos efectos perjudiciales pueden ser reducidos o eliminados, considerando:

- Drenaje superficial y Drenaje subterráneo para el pavimento, de tal manera de evacuar el agua filtrada en las capas del pavimento.
- Mejoramiento de los suelos susceptibles a las heladas.
- Materiales que cumplan la calidad especificada en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras del MTC vigentes.

b. Tráfico expresado en ejes equivalentes

En el capítulo 6 se describen los criterios a tener en cuenta en la determinación del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes para diseño. Para el caso de los pavimentos semirrígidos con adoquines de concreto, el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes que se recomienda aplicar, en este Manual, es hasta 15'000,000 EE en el carril de

diseño y para un periodo de diseño de 20 años. No obstante, el Ingeniero Proyectista podrá proponer este tipo de pavimentos con adoquines de concreto para un mayor Número de Repeticiones de EE previa justificación y sustento técnico.

Cuadro N° 13.6
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE
Nivel I	> 1'000,000 EE ≤ 150,000 EE
Nivel II	> 150,000 EE ≤ 7'500,000 EE
Nivel III	> 7'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia

c. Características de la Sub rasante

Las características de la sub rasante sobre la que se asienta el pavimento, están definidas en seis (06) categorías de sub rasante, en base a su capacidad de soporte CBR.

Cuadro 13.7
Categorías de Sub rasante

Categorías de Sub rasante	CBR
S_0 : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S_1 : Sub rasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S_2 : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S_3 : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S_4 : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S_5 : Sub rasante Extraordinaria	CBR ≥ 30%

Fuente: Elaboración propia

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos u otros productos aprobados por el MTC, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la mas conveniente técnica y económica.

d. **Materiales del Pavimento**

Los materiales de la estructura de pavimento semirrígido de adoquines de concreto, son los siguientes:

- Subbase Granular: es opcional incluir esta capa sobre la sub rasante preparada y compactada, el Manual sólo contempla capas de base granular y de bases tratadas. Las características granulométricas y de calidad del material para la subbase granular, corresponden a las indicadas en el **capítulo 11, numeral 11.1.2**.
- Base Granular: las características granulométricas y de calidad del material para la subbase granular, corresponden a las indicadas en el **capítulo 11, numeral 11.1.3**.
- Base Granular Tratada con Asfalto: las características del material granular corresponden a la Base Granular, indicada anteriormente, a la cual se le adiciona material asfáltico, la mezcla obtenida debe tener una estabilidad Marshall de 1,800 lb.
- Base Granular Tratada con Cemento: las características del material granular corresponden a la Base Granular, indicada anteriormente, a la cual se le adiciona cemento portland, debe tener una resistencia a la compresión a los 7 días de 4.5 MPa.
- Cama de Arena: las características granulométricas y de calidad del material para la cama de arena, corresponden a las indicadas en el **capítulo 11, numeral 11.1.7**.
- Adoquines de Concreto: las características y calidad de los adoquines de concreto corresponden a los indicados en el **capítulo 11, numeral 11.1.7**. En este Manual se recomiendan tres tipos de espesores de adoquines de concreto
- Arena para sello: las características granulométricas y de calidad del material de la arena para sello, corresponden a las indicadas en el **capítulo 11, numeral 11.1.7**.

Los espesores mínimos recomendados de adoquines de concreto y cama de arena, según el tipo de tráfico, serán los siguientes:

Cuadro 13-8
Valores recomendados de Espesores Mínimos de Adoquín de Concreto y Cama de Arena

Ejes equivalentes acumulados		Capa Superficial	Cama de Arena
≤ 150,000		Adoquín de Concreto: 60mm	40 mm
150,001	7,500,000	Adoquín de Concreto: 80mm	40 mm
7,500,001	15'000,000	Adoquín de Concreto: 100mm	40 mm

Fuente: Elaboración Propia, Adaptación del ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute)

V°B°

El espesor mínimo constructivo para base granular es de 100 mm, para bases tratadas con asfalto 90 mm y para bases tratadas con cemento es de 100 mm.

En las **Figuras 13.10, 13.11 y 13.12**, se presentan los ábacos de diseño, que han sido adaptados de la metodología del ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute), para bases granulares, bases tratadas con asfalto y bases tratadas con cemento, respectivamente.

En los ábacos de diseño interviene como datos de ingreso, el CBR de diseño, el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes y el espesor prefijado de adoquín de concreto, determinándose el espesor requerido de base granular, base tratada con asfalto o base tratada con cemento, según corresponda.

A continuación se presenta a manera ilustrativa los gráficos de diseño de adoquines de concreto sobre base granular, sobre base tratada con asfalto y sobre base tratada con cemento. Asimismo se presentan los respectivos catálogos que contienen las secciones estructurales de diseño.







Figura 13.7

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE ADOQUIN CON BASE GRANULAR



PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE	Tp0 75,001-150,000	Tp1 150,001-300,000	Tp2 300,001-500,000	Tp3 500,001-750,000	Tp4 750,001-1'000,000	Tp5 1'000,001-1'500,000	Tp6 1'500,001-3'000,000	Tp7 3'000,001-5'000,000
CBR < 6%	6cm 4cm 22cm (*)	6cm 4cm 28cm (*)	6cm 4cm 20cm 15cm (*)	8cm 4cm 20cm 15cm (*)	8cm 4cm 20cm 15cm (*)	8cm 4cm 25cm 16cm (*)	8cm 4cm 30cm 20cm (*)	8cm 4cm 30cm 27cm (*)
> 6% CBR < 10%	6cm 4cm 22cm	6cm 4cm 28cm	6cm 4cm 20cm 15cm	8cm 4cm 20cm 15cm	8cm 4cm 20cm 15cm	8cm 4cm 25cm 16cm	8cm 4cm 30cm 20cm	8cm 4cm 30cm 27cm
> 10% CBR < 20%	6cm 4cm 17cm	6cm 4cm 22cm	6cm 4cm 26cm	8cm 4cm 26cm	8cm 4cm 26cm	8cm 4cm 20cm 15cm	8cm 4cm 25cm 16cm	8cm 4cm 26cm 15cm
> 20% CBR < 30%	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 20cm	8cm 4cm 20cm	8cm 4cm 20cm	8cm 4cm 22cm	8cm 4cm 28cm	8cm 4cm 20cm 15cm
CBR > 30%	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 18cm	8cm 4cm 25cm	8cm 4cm 28cm

Adoquín de Concreto
Capa de Arena
Base Granular
Sub-base Granular

Fuente: Elaboración propia en base al ICPI (Interlocking Concrete Paviment) y de ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.

V°B°

Figura 13.7a
CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE ADOQUIN CON BASE GRANULAR
PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS



EE	Tp8 5'000,001-7'500,000	Tp9 7'500,001-10'000,000	Tp10 10'000,001-12'500,000	Tp11 12'500,001-15'000,000	Tp12 15'000,001-20'000,000	Tp13 20'000,001-25'000,000	Tp14 25'000,001-30'000,000
CBR < 6%	10cm 4cm 35cm 25cm (*)	10cm 4cm 35cm 28cm (*)	10cm 4cm 35cm 32cm (*)	10cm 4cm 35cm 35cm (*)			
> 6% CBR < 10%	10cm 4cm 35cm 25cm	10cm 4cm 35cm 28cm	10cm 4cm 35cm 32cm	10cm 4cm 35cm 35cm			
> 10% CBR < 20%	10cm 4cm 30cm 20cm	10cm 4cm 30cm 22cm	10cm 4cm 30cm 26cm	10cm 4cm 32cm 26cm			
> 10% CBR < 20%	10cm 4cm 20cm 15cm	10cm 4cm 25cm 18cm	10cm 4cm 25cm 17cm	10cm 4cm 25cm 20cm			
CBR > 30%	10cm 4cm 28cm	10cm 4cm 30cm	10cm 4cm 20cm 15cm	10cm 4cm 20cm 17cm			

Adoquín de Concreto

Capa de Arena

Base Granular

Sub-base Granular

Fuente: Elaboración propia em base al ICPI(Interlocking Concrete Paviment) y de ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.





Figura 13.8

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE ADOQUIN CON BASE TRATADA CON ASFALTO

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE	Tp0 75,001-150,000	Tp1 150,001-300,000	Tp2 300,001-500,000	Tp3 500,001-750,000	Tp4 750,001-1'000,000	Tp5 1'000,001-1'500,000	Tp6 1'500,001-3'000,000	Tp7 3'000,001-5'000,000
CBR < 6%	6cm 4cm 10cm (*)	6cm 4cm 15cm (*)	6cm 4cm 16cm (*)	8cm 4cm 16cm (*)	8cm 4cm 16cm (*)	8cm 4cm 20cm (*)	8cm 4cm 23cm (*)	8cm 4cm 27cm (*)
> 6% CBR < 10%	6cm 4cm 10cm	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 16cm	8cm 4cm 16cm	8cm 4cm 16cm	8cm 4cm 20cm	8cm 4cm 23cm	8cm 4cm 27cm
> 10% CBR < 20%	6cm 4cm 10cm	6cm 4cm 12cm	6cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 20cm	8cm 4cm 22cm
> 20% CBR < 30%	6cm 4cm 10cm	6cm 4cm 10cm	6cm 4cm 10cm	8cm 4cm 10cm	8cm 4cm 10cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 17cm
CBR > 30%	6cm 4cm 10cm	6cm 4cm 10cm	6cm 4cm 10cm	8cm 4cm 10cm	8cm 4cm 10cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm

Adoquín de Concreto

Capa de Arena

Base Tratada con Asfalto

Sub-base Granular

Fuente: Elaboración propia em base al ICPI(Interlocking Concrete Paviment) y de ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.



Figura 13.8a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE ADOQUIN CON BASE TRATADA CON ASFALTO

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS



EE	Tp8 5'000,001-7'500,000	Tp9 7'500,001-10'000,000	Tp10 10'000,001-12'500,000	Tp11 12'500,001-15'000,000	Tp12 15'000,001-20'000,000	Tp13 20'000,001-25'000,000	Tp14 25'000,001-30'000,000
CBR < 6%	10cm 4cm 27cm (*)	10cm 4cm 30cm (*)	10cm 4cm 25cm 15cm (*)	10cm 4cm 25cm 16cm (*)			
> 6% CBR < 10%	10cm 4cm 27cm	10cm 4cm 30cm	10cm 4cm 25cm 15cm	10cm 4cm 25cm 16cm			
> 10% CBR < 20%	10cm 4cm 22cm	10cm 4cm 25cm	10cm 4cm 25cm	10cm 4cm 27cm			
> 10% CBR < 20%	10cm 4cm 17cm	10cm 4cm 20cm	10cm 4cm 20cm	10cm 4cm 22cm			
CBR > 30%	10cm 4cm 15cm	10cm 4cm 15cm	10cm 4cm 20cm	10cm 4cm 20cm			

Adoquín de Concreto

Capa de Arena

Base Tratada con Asfalto

Sub-base Granular

Fuente: Elaboración propia en base al ICPI (Interlocking Concrete Paviment) y de ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.



Figura 13.9

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE ADOQUIN CON BASE TRATADA CON CEMENTO

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE	Tp0 75,001-150,000	Tp1 150,001-300,000	Tp2 300,001-500,000	Tp3 500,001-750,000	Tp4 750,001-1'000,000	Tp5 1'000,001-1'500,000	Tp6 1'500,001-3'000,000	Tp7 3'000,001-5'000,000
CBR < 6%	6cm 4cm 15cm (*)	6cm 4cm 18cm (*)	6cm 4cm 22cm (*)	8cm 4cm 22cm (*)	8cm 4cm 22cm (*)	8cm 4cm 27cm (*)	8cm 4cm 25cm 15cm (*)	8cm 4cm 27cm 15cm (*)
> 6% CBR < 10%	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 18cm	6cm 4cm 22cm	8cm 4cm 22cm	8cm 4cm 22cm	8cm 4cm 27cm	8cm 4cm 25cm 15cm	8cm 4cm 27cm 15cm
> 10% CBR < 20%	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 17cm	8cm 4cm 17cm	8cm 4cm 17cm	8cm 4cm 22cm	8cm 4cm 27cm	8cm 4cm 30cm
> 20% CBR < 30%	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 20cm	8cm 4cm 22cm
CBR > 30%	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 15cm	6cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 15cm	8cm 4cm 18cm

Leyenda: Adoquín de Concreto; Capa de Arena; Base Tratada con Cemento; Sub-base Granular

Fuente: Elaboración propia em base al ICPI(Interlocking Concrete Paviment) y de ecuación AASHTO.

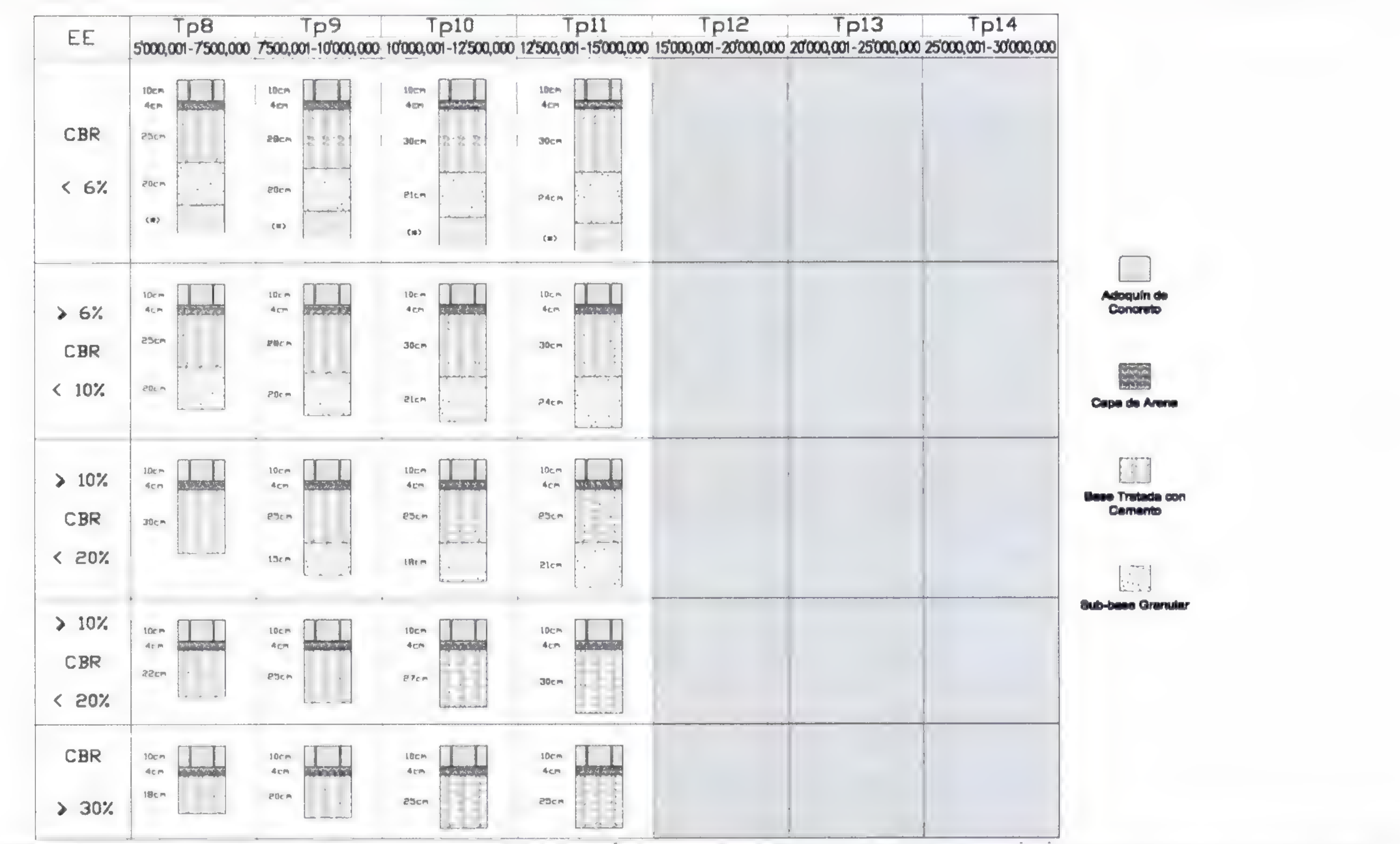
Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.

Figura 13.9a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE ADOQUIN CON BASE TRATADA COM CEMENTO

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS





Fuente: Elaboración propia em base al ICPI(Interlocking Concrete Paviment) y de ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.

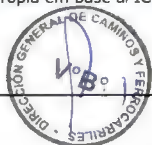




Figura 13.10

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE ADOQUIN CON BASE TRATADA COM CAL

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE	Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
	75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'000,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
CBR < 6%	6 cm 4 cm 16 cm (*)	6 cm 4 cm 22 cm (*)	6 cm 4 cm 25 cm (*)	8 cm 4 cm 25 cm (*)	8 cm 4 cm 25 cm (*)	8 cm 4 cm 30 cm (*)	8 cm 4 cm 25 cm 16 cm (*)	8 cm 4 cm 25 cm 23 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	6 cm 4 cm 16 cm	6 cm 4 cm 22 cm	6 cm 4 cm 25 cm	8 cm 4 cm 25 cm	8 cm 4 cm 25 cm	8 cm 4 cm 30 cm	8 cm 4 cm 25 cm 16 cm	8 cm 4 cm 25 cm 23 cm
≥ 10% CBR < 20%	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 17 cm	6 cm 4 cm 20 cm	8 cm 4 cm 20 cm	8 cm 4 cm 20 cm	8 cm 4 cm 25 cm	8 cm 4 cm 30 cm	8 cm 4 cm 25 cm 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 17 cm	8 cm 4 cm 22 cm	8 cm 4 cm 25 cm
CBR ≥ 30%	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 15 cm	6 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 15 cm	8 cm 4 cm 17 cm	8 cm 4 cm 22 cm

Adoquin de Concreto

Capa de Arena

Base Tratada con Cal

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base al ICPI(Interlocking Concrete Paviment) y de ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.

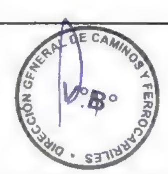




Figura 13.10a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE ADOQUIN CON BASE TRATADA COM CAL

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS



EE	Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
	5'000,001-7'500,000	7'500,001-10'000,000	10'000,001-12'500,000	12'500,001-15'000,000	15'000,001-20'000,000	20'000,001-25'000,000	25'000,001-30'000,000
CBR < 6%	10 cm 4 cm 25 cm 25 cm (*)	10 cm 4 cm 30 cm 22 cm (*)	10 cm 4 cm 30 cm 27 cm (*)	10 cm 4 cm 30 cm 30 cm (*)			
≥ 6% CBR < 10%	10 cm 4 cm 25 cm 25 cm	10 cm 4 cm 30 cm 22 cm	10 cm 4 cm 30 cm 27 cm	10 cm 4 cm 30 cm 30 cm			
≥ 10% CBR < 20%	10 cm 4 cm 25 cm 15 cm	10 cm 4 cm 25 cm 18 cm	10 cm 4 cm 27 cm 20 cm	10 cm 4 cm 30 cm 20 cm			
≥ 10% CBR < 20%	10 cm 4 cm 25 cm	10 cm 4 cm 28 cm	10 cm 4 cm 22 cm 15 cm	10 cm 4 cm 22 cm 16 cm			
CBR ≥ 30%	10 cm 4 cm 22 cm	10 cm 4 cm 22 cm	10 cm 4 cm 27 cm	10 cm 4 cm 27 cm			

Adoquin de Concreto

Capa de Arena

Base Tratada con Cal

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia em base al ICPI(Interlocking Concrete Paviment) y de ecuación AASHTO.

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos será definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año.



13.4.2 Aspectos Constructivos

En general la ejecución en obra de los pavimentos semirrígidos con adoquines de concreto, se regirá por la **Sección 440** del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para, vigente.

En los adoquines intertrabados de concreto su especial diseño, permite bloquear unas piezas con otras, no requiriendo ningún tipo de aglomerante para su colocación. Siendo el bloqueo fundamental para el buen desempeño estructural y para impedir que los adoquines se desplacen; en tal sentido, se debe lograr los tres tipos de bloqueo: bloqueo vertical, bloqueo rotacional y el bloqueo horizontal, esto se ilustra en la **figura 13.11**.

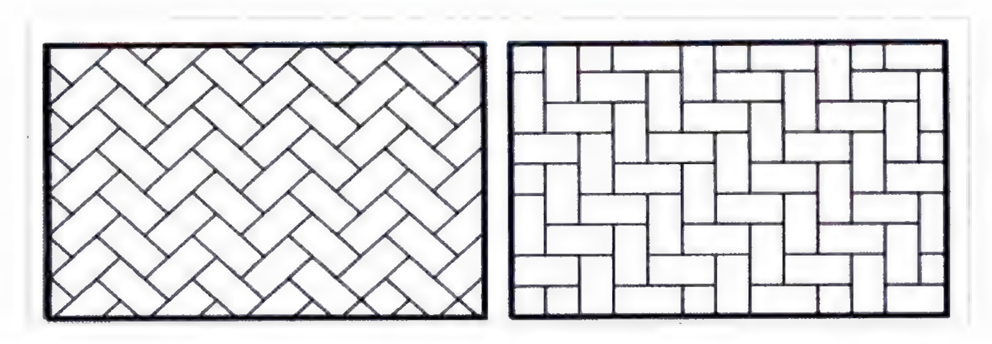
Figura 13.11
Tipos de Bloques

Fuente: ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute)

El bloqueo vertical se logra por transferencia de cortante entre bloques adyacentes, a través de la arena presente en las juntas. En cambio el bloqueo rotacional se logra por el espesor de los adoquines, la cercanía entre adoquines adyacentes y el confinamiento que le proporciona la colocación de sardineles extremos que restringen las fuerzas laterales provocadas por las ruedas de los vehículos. Finalmente, el bloqueo horizontal se logra por un adecuado patrón de colocación y ensamblaje de los adoquines, que permitan mitigar las fuerzas de frenado, aceleración y giro de los vehículos.

El patrón de colocación que proporciona un ensamblaje adecuado de los adoquines es el tipo "espina de pescado", tal como se muestra en la figura siguiente:

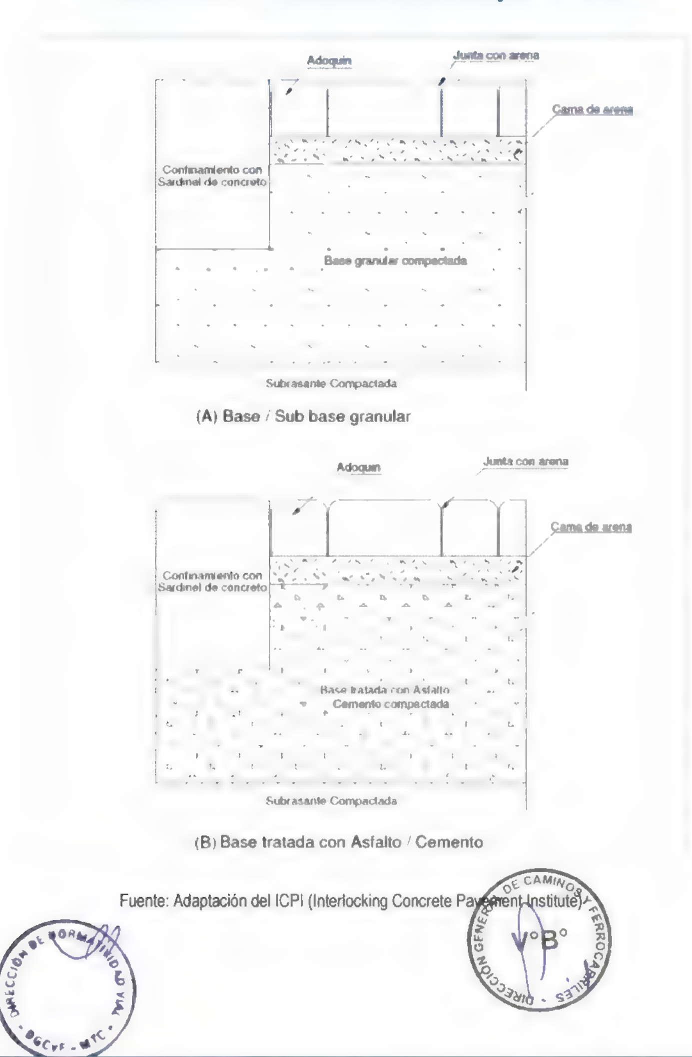
Figura 13.12
Patrón de Colocación y Ensamblaje de Adoquines Tipo "Espina de Pescado"



"Espina de Pescado" a 45° **"Espina de Pescado" a 90°**

En la figura 13.13 se muestra esquemáticamente las secciones transversales típicas del pavimento de adoquines de concreto.

Figura 13.13
Secciones Transversales Esquemáticas



(A) Base / Sub base granular

(B) Base tratada con Asfalto / Cemento

Fuente: Adaptación del ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute)

CAPÍTULO XIV

PAVIMENTOS RÍGIDOS





PAVIMENTOS RÍGIDOS

Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de "rígidos" debido a la naturaleza de la losa de concreto que la constituye.

Debido a su naturaleza rígida, la losa absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por las repeticiones de las cargas de tránsito, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la sub rasante.

Existen tres tipos de pavimentos de concreto:

- Pavimentos de concreto simple con juntas
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados

Los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los periodos de diseño que usualmente se emplean. En el presente Manual, para los caminos del Perú, se propone la aplicación de pavimentos de concreto con juntas.

14.1 Metodología de diseño

14.1.1 Metodología de diseño AASHTO 93

El método AASHTO 93 estima que para una construcción nueva el pavimento comienza a dar servicio a un nivel alto. A medida que transcurre el tiempo, y con él las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método impone un nivel de servicio final que se debe mantener al concluir el periodo de diseño.

Mediante un proceso iterativo, se asumen espesores de losa de concreto hasta que la ecuación AASHTO 1993 llegue al equilibrio. El espesor de concreto calculado finalmente debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado.

$$Log_{10}W_{82} = Z_R S_O + 7.35 Log_{10}(D+25.4) - 10.39 + \frac{Log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.25x10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22-0.32P_t)xLog_{10}\left(\frac{M_r C_{dx}\left(0.09D^{0.75}-1.132\right)}{1.51xJ\left(0.09D^{0.75}-\frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}}\right)}\right)$$

Donde:

$W_{8.2}$ = numero previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño

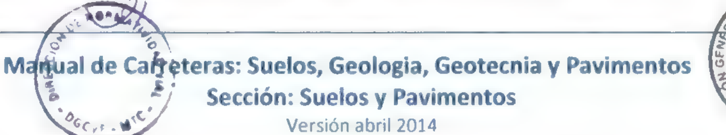
Z_R = desviación normal estándar

S_O = error estándar combinado en la predicción del transito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento

D = espesor de pavimento de concreto, en milímetros

ΔPSI= diferencia entre los índices de servicio inicial y final

P_t = índice de serviciabilidad o servicio final




M_r = resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)

C_d = coeficiente de drenaje

J = coeficiente de transmisión de carga en las juntas

E_c = módulo de elasticidad del concreto, en Mpa

K = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o sub rasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

El cálculo del espesor se puede desarrollar utilizando directamente la fórmula AASHTO 93 con una hoja de cálculo, mediante el uso de nomogramas, o mediante el uso de programas de cómputo especializados. No obstante, en este Manual se presentan catálogos de secciones de estructuras de pavimento rígido, obtenidas en función a los criterios de diseño expuestos en este capítulo, donde se relaciona el tipo de suelo y el tráfico expresado en Ejes Equivalentes.

Los parámetros que intervienen son:

I. Periodo de Diseño

El Periodo de Diseño a ser empleado para el presente manual de diseño para pavimentos rígido será mínimo de 20 años. El Ingeniero de diseño de pavimentos puede ajustar el periodo de diseño según las condiciones específicas del proyecto y lo requerido por la Entidad.

II. Variables

- **El tránsito (ESALs)**

  El periodo esta ligado a la cantidad de tránsito asociada en ese periodo para el carril de diseño. El periodo de diseño mínimo recomendado es de 20 años.

  Una característica propia del método AASHTO 93 es la simplificación del efecto del tránsito introduciendo el concepto de ejes equivalentes. Es decir, transforma las cargas de ejes de todo tipo de vehículo en ejes simples equivalentes de 8.2 Ton de peso, comúnmente llamados ESALs (equivalent single axle load, por sus siglas en inglés). El cálculo de las EE de diseño estará de acuerdo a lo establecido en el **Capítulo 6**: Tráfico Vial.

  Para el caso del tráfico y del diseño de pavimentos rígidos, en este manual, se definen tres categorías:

  a) Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.



Cuadro 14.1
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T_{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T_{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T_{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia
Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño
PX = Pavimentada, X = número de rango (1, 2, 3, 4)

b) Caminos que tienen un tránsito, de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Cuadro 14.2
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T_{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T_{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T_{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T_{P9}	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T_{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T_{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T_{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T_{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T_{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia
Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño
PX = Pavimentada, X = número de rango (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)

c) Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño. Esta categoría de caminos, no está incluida en el presente manual, el diseño de pavimentos será materia de Estudio Especial por el Ingeniero Proyectista, analizando diversas alternativas de pavimento equivalentes y justificando la solución adoptada.

Cuadro 14.3
Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t, en el Carril de Diseño

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T_{P15}	> 30'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia
Nota: T_{PX}: T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño
PX = Pavimentada, X = número de rango (14)



- **Serviciabilidad**

  Este parámetro sintetiza el criterio de diseño AASHTO: Servicio, o serviciabilidad. AASHTO 93 caracteriza el servicio con dos parámetros: índice de servicio inicial (Pi) e índice de servicio final o Terminal (Pt). En la ecuación se ingresa la diferencia entre los valores de servicialidad inicial y final, determinándose una variación o diferencial entre ambos índices (Δ PSI).

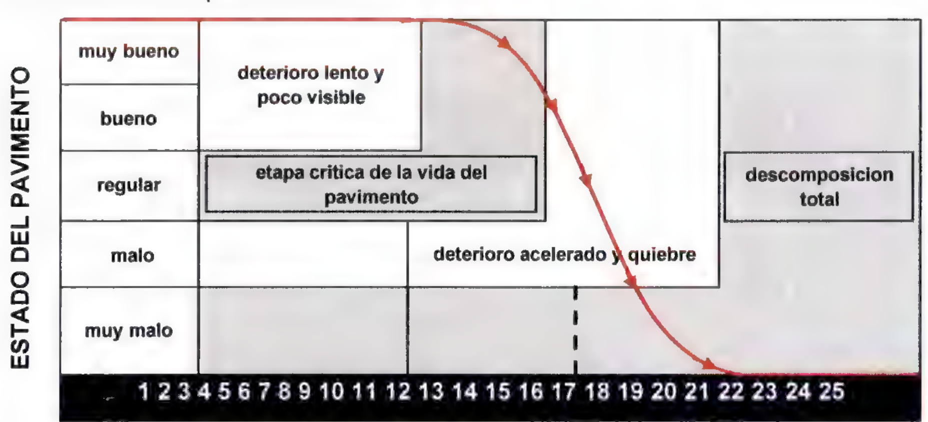
  La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía, y se magnifica en una escala de 0 a 5, donde 0 significa una calificación de intransitable y 5 una calificación de excelente que es un valor ideal que en la práctica no se da. El valor de 0 es un indicador muy pesimista, pues AASHTO 93 emplea el valor de 1.5 como índice de serviciabilidad terminal del pavimento.

  El valor Δ PSI depende de la calidad de la construcción. En el AASHO Road Test se alcanzó el valor de Pi = 4.5 para el caso de pavimentos de concreto. Los valores recomendados en este Manual son los siguientes

Cuadro 14.4
Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)
Índice de Serviciabilidad Final o Terminal (Pt)
Diferencial de Serviciabilidad
Según Rango de Tráfico

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)	Índice de Serviciabilidad Final o Terminal (Pt)	Diferencial de Serviciabilidad (ΔPSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P2}	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P3}	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	T_{P4}	750 001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	T_{P15}	>30'000,000		4.50	3.00	1.50

El índice de serviciabilidad de un pavimento es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento.



VIDA DEL PAVIMENTO (miles de ejes equivalentes o años)

- **La confiabilidad "R" y la desviación estándar (So)**
  El concepto de confiabilidad ha sido incorporado con el propósito de cuantificar la variabilidad propia de los materiales, procesos constructivos y de supervisión que hacen que pavimentos construidos de la "misma forma" presenten comportamientos de deterioro diferentes. La confiabilidad es en cierta manera un factor de seguridad, que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del periodo de diseño, siguiendo conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas.

  El rango típico sugerido por AASHTO esta comprendido entre 0.30 < So < 0.40, en el presente Manual se recomienda un So = 0.35.

  Los siguientes valores de confiabilidad en relación al Número de Repeticiones de EE serán los que se aplicarán para diseño y son los indicados en el **Cuadro 14.5**



Cuadro 14.5
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad (R) y Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de 20 años según rango de Tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	100,000	150,000	65%	-0.385
	T_{P1}	150,001	300,000	70%	-0.524
	T_{P2}	300,001	500,000	75%	-0.674
	T_{P3}	500,001	750,000	80%	-0.842
	T_{P4}	750 001	1,000,000	80%	-0.842
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	T_{P9}	7,500,001	10'000,000	90%	-1.282
	T_{P10}	10'000,001	12'500,000	90%	-1.282
	T_{P11}	12'500,001	15'000,000	90%	-1.282
	T_{P12}	15'000,001	20'000,000	90%	-1.282
	T_{P13}	20'000,001	25'000,000	90%	-1.282
	T_{P14}	25'000,001	30'000,000	90%	-1.282
	T_{P15}	>30'000,000		95%	-1.645

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guia AASHTO'93

- **El suelo y el efecto de las capas de apoyo (Kc)**

  El parámetro que caracteriza al tipo de sub rasante es el módulo de reacción de la sub rasante (K). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la sub rasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado (Kc).

  El ensayo para determinar el módulo de reacción de la sub rasante, llamado también ensayo de placa, tiene por objetivo determinar la presión que se debe ejercer para lograr una cierta deformación, que para este caso es de 13 mm. El ensayo esta normado en ASTM D – 1196 y AASHTO T – 222. Las unidades de K son Mpa / m.

  No obstante, para el presente Manual se utilizará la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción k en función de la clasificación de suelos y el CBR; para el efecto se presenta la siguiente figura.

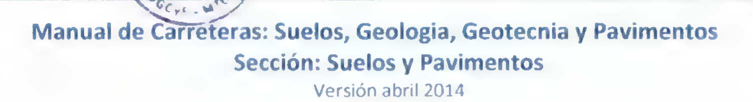
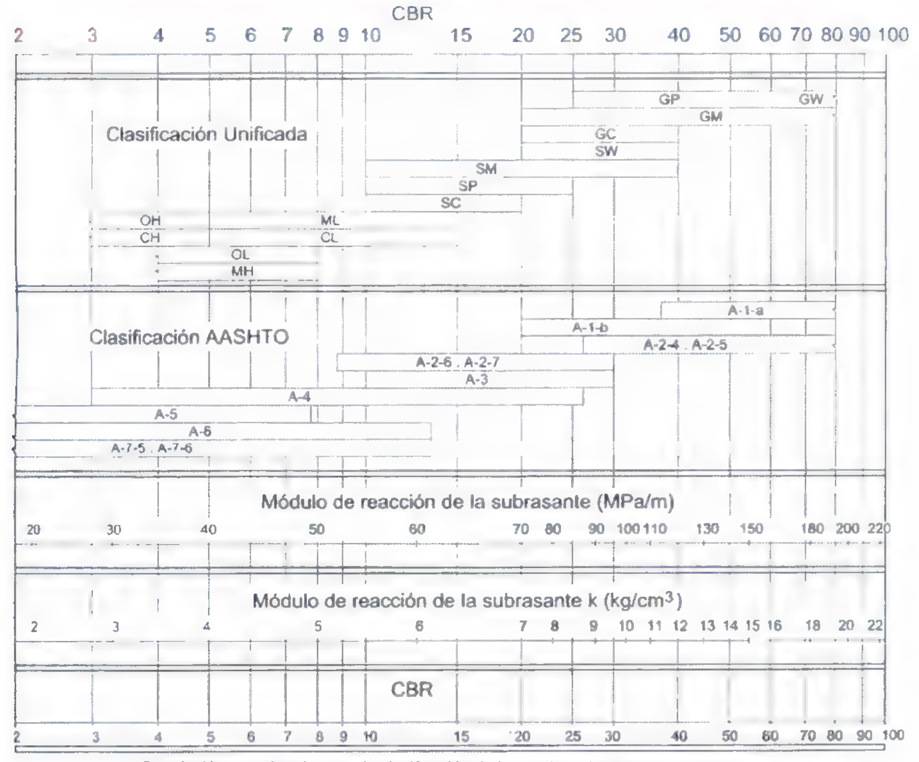


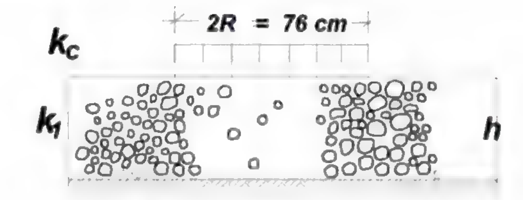
Figura 14.1
Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Sub rasante



Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos
Manual Portland Cement Association: Subgrades and subbases for concrete pavements-Skokie. PCA 1971

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos u otros productos aprobados por el MTC, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la mas conveniente técnica y económica.

La presencia de la subbase granular o base granular, de calidad superior a la sub rasante, permite aumentar el coeficiente de reacción de diseño, en tal sentido se aplicará la siguiente ecuación:



SUELO k_0

$$K_C = [1 + (h/38)^2 \times (K_1/K_0)^{2/3}]^{0.5} \times K_0$$

K1 (kg/cm^3)	:	Coeficiente de reacción de la subbase granular
KC (kg/cm^3)	:	Coeficiente de reacción combinado
K0 (kg/cm^3)	:	Coeficiente de reacción de la sub rasante
h	:	Espesor de la subbase granular

Cuadro 14.6
CBR mínimos recomendados para la SubBase Granular de Pavimentos Rígidos según Intensidad de Tráfico expresado en EE

TRÁFICO	ENSAYO NORMA	REQUERIMIENTO
Para trafico ≤ 15x10^6 EE	MTC E 132	CBR mínimo 40 % (1)
Para trafico > 15x10^6 EE	MTC E 132	CBR mínimo 60 % (1)

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de carga de 0.1" (2.5mm)

- **Resistencia a flexotracción del concreto (MR)**

  Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es que se introduce este parámetro en la ecuación AASHTO 93. El módulo de rotura (MR) esta normalizado por ASTM C – 78. En el ensayo el concreto es muestreado en vigas. A los 28 días las vigas deberán ser ensayadas aplicando cargas en los tercios, y forzando la falla en el tercio central de la viga.

  Para pavimentos los valores varían según los valores del Cuadro 14.7

Cuadro 14.7
Valores Recomendados de Resistencia del Concreto según rango de Tráfico

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'C)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm^2	280 kg/cm^2
> 5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE	42 kg/cm^2	300 kg/cm^2
> 15'000,000 EE	45 kg/cm^2	350 kg/cm^2

El módulo de rotura (Mr) del concreto se correlaciona con el módulo de compresión (f´c) del concreto mediante la siguiente regresión:

$$Mr = a\sqrt{f'c}$$ (Valores en kg/cm^2), según el ACI 363

Donde los valores "a" varían entre 1.99 y 3.18

- **Módulo elástico del concreto**

  El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas.

  En el caso de concretos de alto desempeño, resistencia a compresión superior a 40 Mpa, la estimación utilizando las fórmulas propuestas por distintos códigos puede ser incierta puesto que existen variables que no han sido contempladas, lo que las hace objeto de continuo estudio y ajuste.

  AASHTO'93 indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación, precisando la correlación recomendada por el ACI:

$$\mathbf{E = 57{,}000x(\,f'c)^{0.5};\ (f'c\ en\ PSI)}$$

El ensayo ASTM C – 469 calcula el módulo de elasticidad del concreto

- **Drenaje (Cd)**

La presencia de agua o humedad en la estructura del pavimento trae consigo los siguientes problemas:

- ✓ Erosión del suelo por migración de partículas
- ✓ Ablandamiento de la sub rasante por saturación prolongada, especialmente en situaciones de congelamiento
- ✓ Degradación del material de la carpeta de rodadura por humedad
- ✓ Deformación y fisuración creciente por pérdida de capacidad estructural

La metodología de diseño AASHTO 93 incorpora el coeficiente de drenaje (Cd) para considerarlo en el diseño.

Las condiciones de drenaje representan la probabilidad de que la estructura bajo la losa de concreto mantenga agua libre o humedad por un cierto tiempo. En general el nivel de drenaje de las capas intermedias depende de los tipos de drenaje diseñados, el tipo y permeabilidad de las capas de subbase, tipo de sub rasante, condiciones climáticas, grado de precipitaciones, entre otras.

El coeficiente de drenaje Cd varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas. Un Cd alto implica un buen drenaje y esto favorece a la estructura, reduciendo el espesor de concreto a calcular. Para la definición de las secciones de estructuras de pavimento del presente Manual, el coeficiente de drenaje para las capas granulares asumido, fue de 1.00.

Pasos para el cálculo del Cd

1. Se determina la calidad del material como drenaje en función de sus dimensiones, granulometría, y características de permeabilidad.

Cuadro 14.8
Condiciones de Drenaje

Calidad de Drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	mucho mas de 10 horas

Si el material después de ser saturado con agua cumple con uno de los requisitos del Cuadro 14.8, se puede considerar como un drenaje excelente, bueno, regular, pobre o muy pobre.

2. Una vez caracterizado el material y su calidad de drenaje, se calcula el Cd correlacionándolo con el grado de exposición de la estructura a niveles de humedad próximos a la saturación, utilizando para ello el Cuadro 14.9.

Cuadro 14.9
Coeficiente de Drenaje de las Capas Granulares Cd

Calidad de drenaje	% del tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

- **Transferencia de cargas (J)**

  Es un parámetro empleado para el diseño de pavimentos de concreto que expresa la capacidad de la estructura como transmisora de cargas entre juntas y fisuras.

  Sus valores dependen del tipo de pavimento de concreto a construir, la existencia o no de berma lateral y su tipo, la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas.

  El valor de J es directamente proporcional al valor final del espesor de losa de concreto. Es decir, a menor valor de J, menor espesor de concreto.

Cuadro N° 14.10
Valores de Coeficiente de Transmisión de Carga J

TIPO DE BERMA	J			
	GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
VALORES J	SI (con pasadores)	NO (sin pasadores)	SI (con pasadores)	NO (sin pasadores)
	3.2	3.8 – 4.4	2.8	3.8

Para la definición de las secciones de estructuras de pavimento del presente Manual, el coeficiente de transmisión de carga J asumido, fue de 3.2, considerando las condiciones de la prueba AASHO, que representa como soporte lateral una berma de material granular o una berma con carpeta asfáltica.

14.2 Secciones de estructuras de pavimento rígido

En función a los parámetros requeridos por AASHTO y especificados en los cuadros anteriores, se han determinado los espesores de losa requeridos, para cada rango de tráfico expresado en ejes equivalentes (EE) y rango de tipo de suelos, según se presenta en las figuras 14.2, 14.3, 14.4 y 14.5 y en las Figuras 14.6, 14.6a, 14.7, 14.7a, 14.8 y 14.9 se presentan ilustrativamente y referencialmente, catálogos de estructuras de pavimentos rígidos, que no sustituyen al diseño que deberá realizar el Ingeniero Responsable del Diseño.

Para determinar las secciones de estructuras de pavimento rígido, se consideraron como espesor mínimo de losa de concreto 150 mm y espesor de subbase granular 150 mm.



Figura 14.2
ESPESOR DE LOSA PARA PAVIMENTO RIGIDO J=2.8

$$\text{Log}\,W_{18} = Z_R.S_0 + 7.35[\text{Log}(D+1)] - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.624\times10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32P_t).\text{Log}\left\{\frac{S'_c.C_d.(D^{0.75}-1.132)}{215.63J\left[D^{0.75}-\frac{18.42}{\left(E_c/k\right)^{0.25}}\right]}\right\}$$

Espesor de Losa (cm): 35, 30, 25, 20, 15, 10

Espesor Mínimo de 15 cm

CBR = 6% | CBR = 10% | CBR = 20% | CBR = 30%

R= 80%
P0= 3.90
Pt= 2.20
S0= 0.35
CBR-SB=40%

R= 85%
P0= 4.00
Pt= 2.30
S0= 0.35
CBR-SB=40%

R= 90%
P0= 4.20
Pt= 2.40
S0= 0.35
CBR-SB=40%

R= 95%
P0= 4.30
Pt= 2.50
S0= 0.35
CBR-SB=40%

0.05 | 0.075 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 10.00 | 20.00 | 30.00

Ejes Equivalentes (millones)

Fuente: Elaboración propia en base al Método AASHTO 39.



Figura 14.3

ESPESOR DE LOSA PARA PAVIMENTO RIGIDO J=3.2

$$\text{Log } W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 7.35[\text{Log}(D+1)] - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 x 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t).\text{Log}\left\{\frac{S'_c.C_d.(D^{0.75} - 1.132)}{215.63J\left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(E_c/_k\right)^{0.25}}\right]}\right\}$$

Espesor de Losa (cm): 10, 15, 20, 25, 30, 35

Ejes Equivalentes (millones): 0.05, 0.075, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 10.00, 20.00, 30.00

Espesor Mínimo de 15 cm

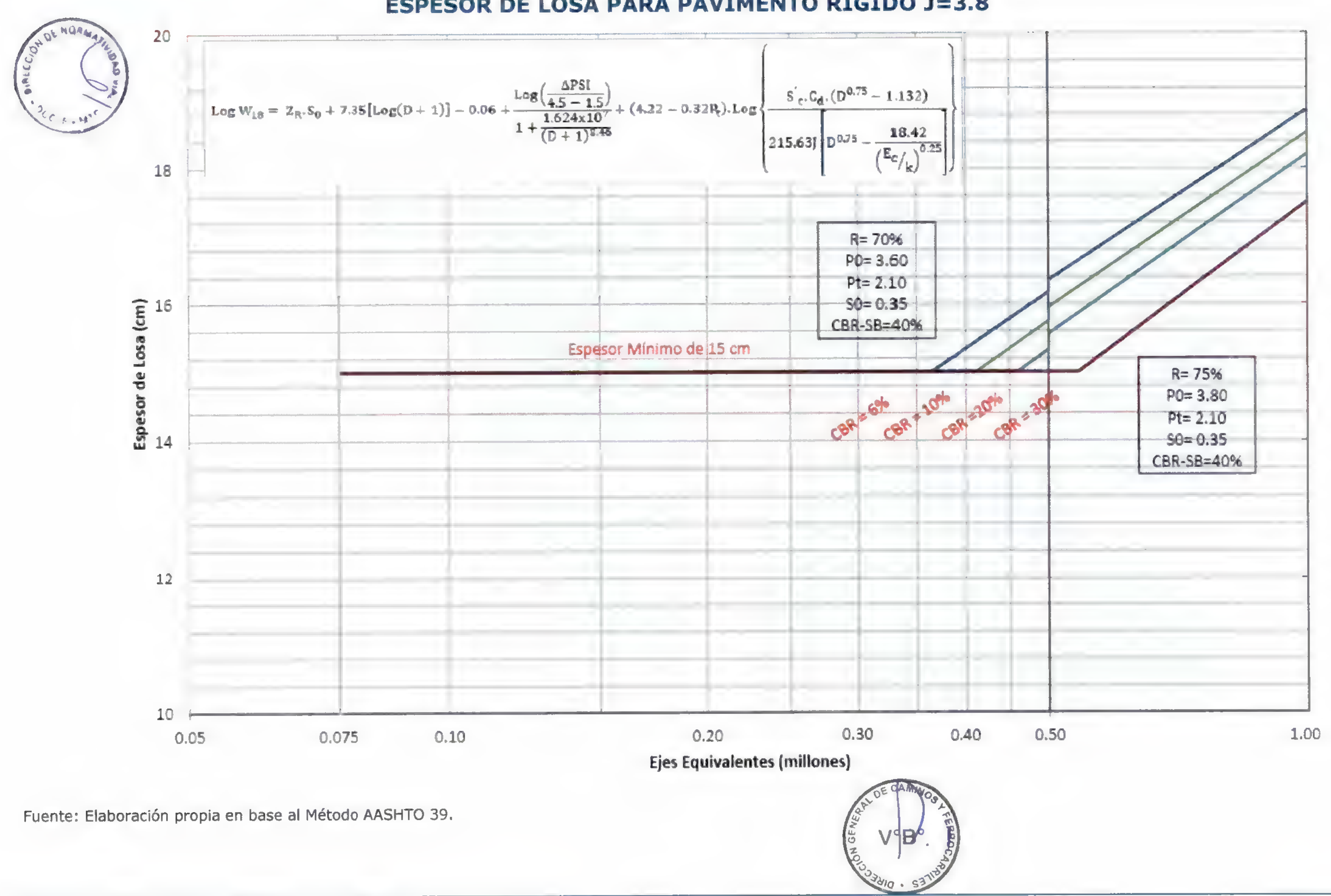
CBR = 6%, CBR = 10%, CBR = 20%, CBR = 30%

R	P0	Pt	S0	CBR-SB
R= 75%	P0= 3.80	Pt= 2.10	S0= 0.35	CBR-SB=40%
R= 80%	P0= 3.90	Pt= 2.20	S0= 0.35	CBR-SB=40%
R= 85%	P0= 4.00	Pt= 2.30	S0= 0.35	CBR-SB=40%
R= 90%	P0= 4.20	Pt= 2.40	S0= 0.35	CBR-SB=40%
R= 95%	P0= 4.30	Pt= 2.50	S0= 0.35	CBR-SB=40%

Fuente: Elaboración propia en base al Método AASHTO 39.

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
V°B°

Figura 14.4
ESPESOR DE LOSA PARA PAVIMENTO RIGIDO J=3.8



Fuente: Elaboración propia en base al Método AASHTO 39.

Figura 14.5
ESPESOR DE LOSA PARA PAVIMENTO RIGIDO J=4.0

$$\text{Log } W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 7.35[\text{Log}(D+1)] - 0.06 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \cdot \text{Log}\left\{\frac{S'_c \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J\left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(E_c/k\right)^{0.25}}\right]}\right\}$$

Espesor de Losa (cm): 20, 18, 16, 14, 12, 10

Ejes Equivalentes (millones): 0.05, 0.075, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 1.00

Espesor Mínimo de 15 cm

CBR = 6%, CBR = 10%, CBR = 20%, CBR = 30%

R= 70%
P0= 3.60
Pt= 2.10
S0= 0.35
CBR-SB=40%

R= 75%
P0= 3.80
Pt= 2.10
S0= 0.35
CBR-SB=40%

Fuente: Elaboración propia en base al Método AASHTO 39.



Figura 14.6

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO CON PASADORES Y CON BERMAS DE CONCRETO Y PARA UN FACTOR j=2.8

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'00,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
CBR %	M_R								
CBR< 6%	≤ 185 PCI (52 MPa/m)	15 cm 15 cm (*)	15 cm 15 cm (*)	15 cm 15 cm (*)	15 cm 15 cm (*)	15 cm 15 cm (*)	17 cm 15 cm (*)	20 cm 15 cm (*)	22 cm 15 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 185 PCI (52 MPa/m) ≤ 223 PCI (63 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	17 cm 15 cm	20 cm 15 cm	22 cm 15 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 223 PCI (63 MPa/m) ≤ 279 PCI (79 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	17 cm 15 cm	19 cm 15 cm	21 cm 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 279 PCI (79 MPa/m) ≤ 373 PCI (105 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	16 cm 15 cm	19 cm 15 cm	21 cm 15 cm
CBR≥ 30%	> 373 PCI (105 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	16 cm 15 cm	18 cm 15 cm	20 cm 15 cm

Losa de Concreto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. J = 2.8 (Pavimento rigido con Berma de Concreto y con Pasadore).
4. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada cuatro años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada ocho años.
   c) Efectuar mantenimiento de pavimento existente y periódicamente Resellado de juntas,

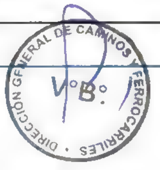




Figura 14.6a
CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO CON PASADORES Y CON BERMAS DE CONCRETO Y PARA UN FACTOR j=2.8
PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
		5'000,001-7'500,000	7'500,001-10'000,000	10'000,001-12'500,000	12'500,001-15'000,000	15'000,001-20'000,000	20'000 001-25'000,000	25'000,001-30'000,000
CBR %	M_R							
CBR< 6%	≤ 185 PCI (52 MPa/m)	23 cm 15 cm (*)	24 cm 15 cm (*)	26 cm 15 cm (*)	27 cm 15 cm (*)	27 cm 15 cm (*)	29 cm 15 cm (*)	30 cm 15 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 185 PCI (52 MPa/m) ≤ 223 PCI (63 MPa/m)	23 cm 15 cm	24 cm 15 cm	26 cm 15 cm	27 cm 15 cm	27 cm 15 cm	29 cm 15 cm	30 cm 15 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 223 PCI (63 MPa/m) ≤ 279 PCI (79 MPa/m)	23 cm 15 cm	24 cm 15 cm	26 cm 15 cm	26 cm 15 cm	27 cm 15 cm	29 cm 15 cm	30 cm 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 279 PCI (79 MPa/m) ≤ 373 PCI (105 MPa/m)	23 cm 15 cm	24 cm 15 cm	25 cm 15 cm	26 cm 15 cm	26 cm 15 cm	29 cm 15 cm	29 cm 15 cm
CBR≥ 30%	> 373 PCI (105 MPa/m)	22 cm 15 cm	23 cm 15 cm	25 cm 15 cm	25 cm 15 cm	26 cm 15 cm	28 cm 15 cm	29 cm 15 cm

Losa de Concreto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. J = 2.8 (Pavimento rigido con Berma de Concreto y con Pasadore).
4. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada cuatro años
b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada ocho años.
c) Efectuar mantenimiento de pavimento existente y periódicamente Resellado de juntas,

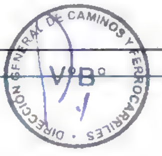


Figura 14.7

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO CON PASADORES Y CON BERMAS DE CONCRETO Y PARA UN FACTOR j=3.2

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'000,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
CBR %	M_R								
CBR< 6%	≤ 185 PCI (52 MPa/m)	15 cm 15 cm (*)	15 cm 15 cm (*)	15 cm 15 cm (*)	16 cm 15 cm (*)	17 cm 15 cm (*)	19 cm 15 cm (*)	21 cm 15 cm (*)	23 cm 15 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 185 PCI (52 MPa/m) ≤ 223 PCI (63 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	16 cm 15 cm	17 cm 15 cm	19 cm 15 cm	21 cm 15 cm	23 cm 15 cm
≥ 10% CBR < 20%	>223 PCI (63 MPa/m) ≤ 279 PCI (79 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	16 cm 15 cm	17 cm 15 cm	19 cm 15 cm	21 cm 15 cm	23 cm 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 279 PCI (79 MPa/m) ≤ 373 PCI (105 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	16 cm 15 cm	18 cm 15 cm	21 cm 15 cm	23 cm 15 cm
CBR≥ 30%	> 373 PCI (105 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	18 cm 15 cm	20 cm 15 cm	22 cm 15 cm

Losa de Concreto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. J = 3.2 (Pavimento rigido con Berma de Concreto y con Pasadore).
4. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada cuatro años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada ocho años.
   c) Efectuar mantenimiento de pavimento existente y periódicamente Resellado de juntas,

Figura 14.7a

CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO CON PASADORES Y CON BERMAS DE CONCRETO Y PARA UN FACTOR j=3.2

PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS



EE		Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
		5 000,001-7'500,000	7'500,001-10'000,000	10'000,001-12'500,000	12'500,001-15'000,000	15'000,001-20'000,000	20'000,001-25'000,000	25'000,001-30'000,000
CBR %	M_R							
CBR< 6%	≤ 185 PCI (52 MPa/m)	25 cm / 15 cm / (*)	26 cm / 15 cm / (*)	28 cm / 15 cm / (*)	29 cm / 15 cm / (*)	29 cm / 15 cm / (*)	31 cm / 15 cm / (*)	32 cm / 15 cm / (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 185 PCI (52 MPa/m) ≤ 223 PCI (63 MPa/m)	25 cm / 15 cm	26 cm / 15 cm	28 cm / 15 cm	29 cm / 15 cm	29 cm / 15 cm	31 cm / 15 cm	32 cm / 15 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 223 PCI (63 MPa/m) ≤ 279 PCI (79 MPa/m)	25 cm / 15 cm	26 cm / 15 cm	27 cm / 15 cm	28 cm / 15 cm	29 cm / 15 cm	31 cm / 15 cm	32 cm / 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 279 PCI (79 MPa/m) ≤ 373 PCI (105 MPa/m)	24 cm / 15 cm	26 cm / 15 cm	27 cm / 15 cm	28 cm / 15 cm	28 cm / 15 cm	31 cm / 15 cm	32 cm / 15 cm
CBR≥ 30%	> 373 PCI (105 MPa/m)	24 cm / 15 cm	25 cm / 15 cm	27 cm / 15 cm	27 cm / 15 cm	28 cm / 15 cm	30 cm / 15 cm	31 cm / 15 cm

Losa de Concreto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. J = 3.2 (Pavimento rigido con Berma de Concreto y con Pasadore).
4. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada cuatro años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada ocho años.
   c) Efectuar mantenimiento de pavimento existente y periódicamente Resellado de juntas,

Figura 14.8
CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO CON PASADORES Y CON BERMAS DE CONCRETO Y PARA UN FACTOR j=3.8 PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000
CBR %	M_R					
CBR < 6%	≤ 185 PCI (52 MPa/m)	15 cm 15 cm (*)	15 cm 15 cm (*)	17 cm 15 cm (*)	18 cm 15 cm (*)	19 cm 15 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 185 PCI (52 MPa/m) ≤ 223 PCI (63 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	17 cm 15 cm	18 cm 15 cm	19 cm 15 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 223 PCI (63 MPa/m) ≤ 279 PCI (79 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	17 cm 15 cm	18 cm 15 cm	19 cm 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 279 PCI (79 MPa/m) ≤ 373 PCI (105 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	16 cm 15 cm	17 cm 15 cm	18 cm 15 cm
CBR ≥ 30%	> 373 PCI (105 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	17 cm 15 cm	18 cm 15 cm

Losa de Concreto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. J = 3.8 (Pavimento rigido con Berma de Concreto y con Pasadore).
4. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada cuatro años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada ocho años.
   c) Efectuar mantenimiento de pavimento existente y periódicamente Resellado de juntas,





Figura 14.9
CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO SIN PASADORES Y CON BERMAS GRANULAR O ASFALTICA Y PARA UN FACTOR j=4.0
PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000
CBR %	M_R					
CBR < 6%	≤ 185 PCI (52 MPa/m)	15 cm 15 cm (*)	15 cm 15 cm (*)	17 cm 15 cm (*)	19 cm 15 cm (*)	20 cm 15 cm (*)
≥ 6% CBR < 10%	> 185 PCI (52 MPa/m) ≤ 223 PCI (63 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	17 cm 15 cm	19 cm 15 cm	20 cm 15 cm
≥ 10% CBR < 20%	> 223 PCI (63 MPa/m) ≤ 279 PCI (79 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	17 cm 15 cm	19 cm 15 cm	20 cm 15 cm
≥ 20% CBR < 30%	> 279 PCI (79 MPa/m) ≤ 373 PCI (105 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	16 cm 15 cm	18 cm 15 cm	19 cm 15 cm
CBR ≥ 30%	> 373 PCI (105 MPa/m)	15 cm 15 cm	15 cm 15 cm	16 cm 15 cm	17 cm 15 cm	19 cm 15 cm

Losa de Concreto

Subbase Granular

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO

Nota:
1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos serán definidos en estudios específicos.
2. EE: Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril y periodo de diseño.
3. J = 4.0 (Pavimento rigido con Berma de Concreto y con Pasadore) Solo aplica para un trafico máximo de 1'000,000 EE.
4. En la etapa de Operación y Conservación Vial, efectuar entre otros aspectos:
   a) Evaluaciones superficiales del pavimento: Inventario de Condición, se efectúa al menos una vez cada año; y Rugosidad, al menos una medición cada cuatro años
   b) Evaluaciones Estructurales del Pavimento: Deflexiones, se efectuará al menos una medición cada ocho años.
   c) Efectuar mantenimiento de pavimento existente y periódicamente Resellado de juntas,



V°B°

14.3 Juntas longitudinales y juntas transversales

El objetivo de las juntas es controlar la fisuración y agrietamiento que sufre la losa del pavimento debido a la contracción propia del concreto por pérdida de humedad, así como a las variaciones de temperatura que sufre la losa por su exposición al medioambiente, y el gradiente de temperatura existente desde la superficie hasta la subbase.

Las juntas tienen las siguientes funciones:

- Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal
- Dividir el pavimento en secciones adecuadas para el proceso constructivo y acordes con las direcciones de tránsito
- Permitir el movimiento y alabeo de las losas
- Proveer la caja para el material de sello
- Permitir la transferencia de carga entre las losas

Los diferentes tipos de juntas pueden agruparse en:

- Juntas longitudinales
- Juntas transversales

Las juntas longitudinales son las que delimitan los carriles que serán por donde transitaran los vehículos.

Las juntas transversales están dispuestas en sentido perpendicular a las longitudinales.

El tamaño de las losas determina en cierta forma la disposición de las juntas transversales y las juntas longitudinales. La longitud de la losa no debe ser mayor a 1.25 veces el ancho y que no sea mayor a 4.50 m. En zonas de altura mayores a 3000 msnm se recomienda que las losas sean cuadradas o en todo caso, losas cortas conservando el espesor definido según AASHTO y el Manual.

Cuadro 14.11
Dimensiones de Losa

Ancho de Carril (m) = Ancho de Losa (m)	Longitud de Losa (m)
2.70	3.30
3.00	3.70
3.30	4.10
3.60	4.50





Una construcción adecuada y oportuna, acompañada de un correcto diseño, son claves para que las juntas tengan un buen desempeño. El sellado de las juntas debe ser eficiente para mantener al sistema en funcionamiento.

Para un correcto diseño de juntas hay que tener en cuenta:

- Condiciones ambientales, los cambios de temperatura y humedad inducen el movimiento entre las losas, generando concentraciones de esfuerzos y alabeos.
- Espesor de la losa, influye en los esfuerzos que generan alabeo y deflexiones.
- Sistema de transferencia de cargas, es necesaria en toda junta de concreto.
- Nivel de tránsito, el tipo y volumen de vehículos pesados influye notablemente en las exigencias de los mecanismos de transferencia de carga a optar.
- Características de los materiales, los insumos del concreto afectan su resistencia y el dimensionamiento de las juntas. Los insumos determinan el movimiento entre las losas.
- Tipo de subbase, el valor soporte afecta la estructura del pavimento, y la fricción de la interfase afectan el movimiento y soporte de las losas.
- Materiales sellantes, la longitud de las losas afecta el sellador a elegir
- Diseño de la berma, el tipo de berma, la presencia de sobreanchos, afectan el soporte lateral y la capacidad de las juntas para la transferencia de cargas.
- Debe prepararse un plano de distribución de juntas, identificando las juntas longitudinales, las juntas transversales de contracción y de dilatación; en este plano se identificarán las losas irregulares que requieran refuerzo y/o las losas donde se ubican tapas de buzón o de cajas de paso y que también requieren refuerzo.

Tipos de juntas

Los tipos de juntas en los pavimentos de concreto son los siguientes:

14.3.1 Juntas longitudinales

- Juntas longitudinales de contracción, dividen los carriles de tránsito y controlan el agrietamiento y fisuración cuando se construyen en simultáneo dos o más carriles. En ese caso, se logran mediante el corte a la tercera parte del espesor de la losa de concreto, con un disco de 3 mm. La transferencia de carga en las juntas longitudinales se logra mediante la trabazón de los agregados, y se mantiene con el empleo de barras de amarre, que son de acero y corrugadas.

- Juntas longitudinales de construcción, se constituyen de acuerdo al encofrado utilizado o a las pasadas de la pavimentadora de encofrado deslizante. La transferencia de carga se puede lograr mediante el empleo de juntas tipo llave o machihembradas. No se recomienda el empleo de

juntas tipo llave en pavimentos con espesores de losa menores a 25 cm. Las juntas tipo llave requieren necesariamente el empleo de barras de amarre para asegurar que los carriles permanezcan lo suficientemente juntos para que la llave funcione. Cuando no se emplean juntas tipo llave, la barra de amarre puede ser capaz de aportar la totalidad de la transferencia de carga, debido a que el tránsito es canalizado al carril del pavimento.

14.3.2 Juntas transversales

- **Juntas transversales de contracción,** se construyen transversalmente a la línea central del pavimento y están espaciadas para controlar la fisuración y el agrietamiento provocados por la retracción del concreto, y por los cambios de humedad y temperatura. De ser posible se harán coincidir las juntas transversales de contracción con las de construcción.

  El espaciamiento recomendado entre juntas no debe exceder los 4.50 metros.

  Se realizan cortando el concreto hasta la tercera parte del espesor de la losa, con un disco de corte de 3 mm, que logra la abertura suficiente para inducir la fisura. La transferencia de carga se puede dar mediante la trabazón de los agregados o mediante el empleo de pasadores.

- **Juntas transversales de construcción,** son las juntas generadas al final de la jornada de trabajo. Estas juntas se deben localizar y construir en el lugar planeado siempre que sea necesario. En estas juntas se requiere el empleo de pasadores para la transmisión de carga.

- **Juntas transversales de dilatación**, los pavimentos de concreto normalmente no requieren este tipo de juntas. Anteriormente se empleaban este tipo de juntas para reducir los esfuerzos de compresión, sin embargo, esto ocasionaba que las juntas de contracción se abrieran más de lo necesario deteriorando la trabazón de los agregados y por lo tanto afectando la transferencia de carga.

  El propósito de una junta de dilatación es el de aislar una estructura sobre carril del pavimento. En algunos casos no es recomendable el empleo de pasadores, por ejemplo en intersecciones en que los movimientos de las losas, si están unidas, podrían dañar al concreto adyacente. Por lo general tienen anchos de 18 a 25 mm, en donde se coloca un material compresible que llene el espacio entre las caras de las losas.

  A todas las juntas de contracción que estén al menos a 30 metros se les deben colocar pasadores para garantizar la transmisión de carga, dado que se ha reducido la eficiencia de la trabazón de agregados por la presencia de la junta de dilatación. Cuando no presentan pasadores, las juntas de dilatación se diseñan con un sobre espesor en los bordes adyacentes.

14.3.3 Mecanismos de transferencia de carga

Es la capacidad que tiene una junta de transferir algo de la carga de un lado de la junta a otro, es decir de un paño al paño adyacente.

Un adecuado mecanismo de transferencia se requiere para asegurar un buen desempeño del pavimento dado que disminuye las deflexiones, reduce el escalonamiento, el despostillamiento en las juntas, y las fisuras en las esquinas.

Los mecanismos que contribuyen a la transferencia de cargas entre losas adyacentes son:

- **Trabazón de agregados,** es el engranaje mecánico que existe entre los agregados de ambas caras de las losas adyacentes. Depende de la resistencia al corte de las partículas de los agregados, del espaciamiento entre las juntas transversales, del tipo de subbase, y del tránsito.

  El tamaño de los agregados es crítico para la transferencia de carga. Cuando el tamaño es menor de 25 mm proveen una resistencia marginal. Por lo general el comportamiento de los agregados triturados es mejor que el de los zarandeados.

  Estudios indican que la trabazón de agregados puede funcionar para pavimentos diseñados con un Número de Repeticiones de EE menores a 4 millones en el periodo de diseño.

- **Pasadores o dowells,** incrementan mecánicamente la transferencia de carga aportada por la trabazón de agregados, es necesaria para pavimentos con un Número de Repeticiones de EE mayores a 4 millones en el periodo de diseño.

  Son barras de acero lisas (cuyo diámetro aproximado es 1/8 del espesor de la losa), insertadas en la mitad de las juntas con el propósito de transferir cargas sin restringir el movimiento de las losas y permitiendo el alineamiento horizontal y vertical. El empleo de pasadores disminuye las deflexiones y los esfuerzos del concreto, reduciendo el escalonamiento, bombeo y las fallas de esquina.

Cuadro 14.12
Diámetros y Longitudes recomendados en pasadores

Rango de Espesor de Losa (mm)	Diámetro		Longitud del pasador o dowells (mm)	Separación entre pasadores (mm)
	mm	Pulgada		
150 - 200	25	1"	410	300
200 – 300	32	1 ¼"	460	300
300 – 430	38	1 ½"	510	380



- **Subbases tratadas,** reducen la deflexión en las juntas al incrementar la capacidad de soporte del suelo (K equivalente).

14.3.4 Barras de amarre

Son aceros corrugados colocados en la parte central de la junta longitudinal con el propósito de anclar carriles adyacentes, mejorando la trabazón de los agregados y contribuyendo a la integridad del sello empleado. Como ya se ha mencionado, pueden servir como mecanismos de transferencia de carga.

Cuadro 14.13
Diámetros y Longitudes recomendados en Barras de Amarre

Espesor de Losa (mm)	Tamaño de Varilla (cm) Diam. x Long.	Distancia de la Junta al extremo libre	
		3.00 m	3.60 m
150	1.27 x 66	@ 76 cm	@ 76 cm
160	1.27 x 69	@ 76 cm	@ 76 cm
170	1.27 x 70	@ 76 cm	@ 76 cm
180	1.27 x 71	@ 76 cm	@ 76 cm
190	1.27 x 74	@ 76 cm	@ 76 cm
200	1.27 x 76	@ 76 cm	@ 76 cm
210	1.27 x 78	@ 76 cm	@ 76 cm
220	1.27 x 79	@ 76 cm	@ 76 cm
230	1.59 x 76	@ 91 cm	@ 91 cm
240	1.59 x 79	@ 91 cm	@ 91 cm
250	1.59 x 81	@ 91 cm	@ 91 cm
260	1.59 x 82	@ 91 cm	@ 91 cm
270	1.59 x 84	@ 91 cm	@ 91 cm
280	1.59 x 86	@ 91 cm	@ 91 cm
290	1.59 x 89	@ 91 cm	@ 91 cm
300	1.59 x 91	@ 91 cm	@ 91 cm





14.3.5 Sellado de las juntas

La función principal de sellar las juntas en los pavimentos rígidos es la de minimizar la infiltración de agua y el ingreso de partículas incompresibles dentro de la junta.

El ingreso de agua contribuye al deterioro de las capas de soporte, sub rasante o subbase, causando la pérdida de apoyo, asentamientos diferenciales y escalonamiento. Se debe a que el agua toma los finos de las capas y los elimina por el fenómeno de bombeo causado por el paso de las cargas de tránsito. La pérdida de finos constituye la erosión de las capas de apoyo, y acelera el deterioro del pavimento.

El ingreso de materiales incompresibles restringe el movimiento permitido por las juntas, y además contribuyen al despostillamiento y pueden producir roturas en el concreto.

En la elección de los materiales selladores se debe tener en cuenta el espaciamiento entre juntas, los tipos de juntas, la exposición a medios agresivos.

Los movimientos longitudinales (en dirección del carril de tránsito) inducen mayores tensiones y deformaciones en el sellador de las juntas transversales que los de los selladores en las juntas longitudinales.

El sellador debe ser capaz de soportar los esfuerzos producidos por los movimientos de las losas adyacentes. Pueden ser líquidos y preformados.

Un aspecto importante en el comportamiento de los selladores es la preparación de las cajas de sello.

Diseño de las caja de sello para selladores líquidos

Es necesario calcular primero el movimiento de las juntas transversales para obtener un diseño adecuado. El movimiento se logra con la siguiente ecuación:

$$\Delta L = CL(\alpha \Delta T + \varepsilon)$$

Donde:

ΔL = movimiento de las losas
L = longitud de la losa
α = Coeficiente de expansión térmica del concreto
ΔT = Gradiente térmico (máxima temperatura que alcanza el concreto en su colocación y temperatura más baja del año)
ε = Coeficiente de contracción del concreto

Una vez obtenido el movimiento entre losas (ΔL), y eligiendo el ancho de la caja de sello (6mm por ejemplo), podemos elegir el tipo de sellador a utilizar teniendo en consideración el % de elongación que debe cumplir.



A continuación se muestra el **Cuadro 14.14** referencial con valores de Coeficiente de expansión térmica del concreto dependiendo de la naturaleza de su agregado:

Cuadro 14.14
Valores Referenciales de Coeficiente de Expansión

TIPOS DE AGREGADOS	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA 10^ -6 / °C
Cuarzo	3.7
Arenisca	3.6
Grava	3.3
Granito	2.9
Basalto	2.7
Caliza	2.1

Asimismo se adjunta el **Cuadro 14.15** con valores referenciales de Coeficientes de contracción del concreto.

Cuadro 14.15
Valores Referenciales de Coeficiente de Contracción

Resistencia a la tracción indirecta, Mpa	Coeficiente de Contracción, mm / mm
< 2.1	0.0008
2.8	0.0006
3.5	0.00045
4.2	0.0003
> 4.9	0.0002





Factor de forma

El factor de forma es la relación entre la profundidad y ancho de un sellador líquido vertido en una junta. El ancho del corte y la profundidad de inserción del cordón de respaldo determinan la forma del sellador.

Los distintos selladores líquidos soportan diferentes niveles de deformación que dependen de la elongación propia del sellador y del factor de forma. La mayoría de los selladores líquidos de vertido en caliente puede soportar un 20% de elongación respecto a su ancho final y las siliconas y otros materiales pueden soportar hasta un 100%.

Se aconseja dimensionar las cajas de manera que la elongación total no supere el 50%.

Al momento de la colocación se debe garantizar que el sellador quede entre 6 y 10 mm por debajo de la superficie del pavimento para evitar su extrusión y posterior desprendimiento producto del paso de los neumáticos.

Los cordones de respaldo se comprimen 25% por lo que hay que considerar esto al momento de colocarlos.

Diseño de la caja de sello para selladores preformados

Al igual que en los líquidos, se deben conocer los rangos de movimiento entre las losas, y la temperatura del pavimento en su colocación. El sello preformado trabaja entre rangos de 20 – 50% de elongación.

El ancho de corte se calcula mediante:

$$Sc = (1\text{-}Pc) x\ W$$

Donde:

Sc = ancho de corte en la junta
W = ancho de sello sin comprimir
Pc = % de compresión del sello en el momento de la instalación (decimal)

Pc = C min + ((temp de instalación – temp mínima) / (temp. Máxima – temp. Mínima)) X (Cmax – Cmin)

Donde:

Cmin = compresión mínima recomendada del sello (generalmente 0.2)
Cmax = compresión máxima recomendada del sello (generalmente 0.5)

14.4 Bermas del pavimento rígido

Las bermas tienen por finalidad proveer soporte de borde a la calzada de pavimento, asistencia a los vehículos en problemas, incrementar la seguridad, y prevenir la erosión de las capas inferiores.

Los tipos de berma que se encuentran disponibles son:



- Concreto
- Asfalto
- Granulares

Los criterios generales expuestos en el capítulo 12, numeral 12.3 del presente Manual, son válidos para las bermas del pavimento rígido, con excepción de lo explícitamente indicado en este acápite.

14.4.1 Bermas de concreto

A continuación se muestran los diferentes tipos de berma de concreto que se pueden emplear:

- **Espesor total (bermas ancho igual o menor a 1.20m)**
  Utilizado mayormente en pavimentos urbanos donde el acceso es limitado y se puede emplear para realizar mantenimiento futuro, o se desea realizar una ampliación. Se emplean barras de amarre en la junta longitudinal y pasadores en las transversales.

- **Espesor parcial (bermas ancho mayor a 1.20m)**
  El espesor se puede basar en un 5% de los Ejes Equivalentes del carril de diseño.

  Si la berma será empleada para sostener una parte sustancial del tránsito como parte de una política o esquema de mantenimiento, el diseñador debe proceder de la misma manera que para el pavimento de la calzada, basándose en la cantidad de tránsito estimado que pasará por la berma en los periodos de mantenimiento.

  El mínimo espesor es 15 cm. El corte de las juntas debe mantener el mismo patrón que la línea principal y aplicar pasadores. Se deben emplear barras de amarre.

14.4.2 Bermas de asfalto

Presentan las mismas consideraciones que las desarrolladas para pavimentos flexibles

14.4.3 Bermas granulares

Pueden emplearse para pavimentos rurales de bajo tránsito.

14.5 Materiales del pavimento rígido

Los materiales del pavimento rígido como son:

- Concreto
- Acero y canastillas
- Selladores
- Cordones de respaldo




Están especificados en el **Capítulo 11** del presente Norma y en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para, vigente; **Sección 438** Pavimento de Concreto Hidráulico.

14.6 Refuerzo de pavimentos rígidos

El refuerzo de un pavimento rígido será necesario cuando presente fallas generalizadas de tipo estructural, con grietas, roturas y escalonamientos en juntas, asientos y daños superficiales, que no puedan ser reparados económicamente por los métodos ordinarios de conservación y que afecten a corto plazo la comodidad del usuario.

En todos los casos se procederá a un estudio especial para determinar la causa de las fallas y adoptar las medidas precisas (parchados, reparación parcial o total de losa, colocación de barras de transferencia de carga, drenaje, estabilización mediante inyecciones de lechada, etc), antes de proceder al refuerzo, a fin de asegurar que el pavimento antiguo constituye un asiento suficientemente estable para las nuevas capas.

El refuerzo podrá realizarse con mezcla asfáltica en caliente o con concreto hidráulico.

Cuando el refuerzo sea asfáltico, se tendrá en cuenta que para impedir la reflexión de juntas y grietas en el nuevo pavimento asfáltico, se debe analizar la atenuación de la reflexión de juntas y grietas, aplicando por ejemplo, mallas, geosintéticos o un SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) y la colocación de espesores gruesos de capa asfáltica en caliente, colocada en dos capas, sirviendo la primera capa como nivelante y de regularización.

Si el refuerzo se realiza con otro pavimento de concreto (rígido), este podrá colocarse directamente sobre el pavimento existente (refuerzo parcialmente adherente) o con interposición de una capa aislante (refuerzo no adherente).

Los refuerzos parcialmente adherentes de concreto no se recomiendan cuando el pavimento existente esté excesivamente fisurado y agrietado, por los efectos de la reflexión de grietas. Por otra parte es conveniente que las juntas de ambos pavimentos coincidan.

En los refuerzos no adherentes, la capa aislante tiene por objeto principal evitar la adherencia entre los dos pavimentos, así como impedir la transmisión de grietas y juntas; y, servir también como capa de regularización o nivelante. En este caso se recomienda el empleo de una mezcla bituminosa con un espesor mínimo, medido en cualquier punto, de 3 cm. También se puede emplear una lámina de polietileno, malla o geosintético que impida la adherencia.

Para determinar el espesor del nuevo pavimento de concreto con juntas, se recomienda calcular en primer lugar el espesor necesario como si se tratara de un pavimento nuevo, para el periodo de proyecto, rango de tráfico y calidad de la sub rasante. El espesor obtenido se reducirá en función del aporte del pavimento existente y del tipo de refuerzo a colocar.

El refuerzo de concreto a colocar seguirá los criterios para el diseño de pavimentos rígidos nuevos.

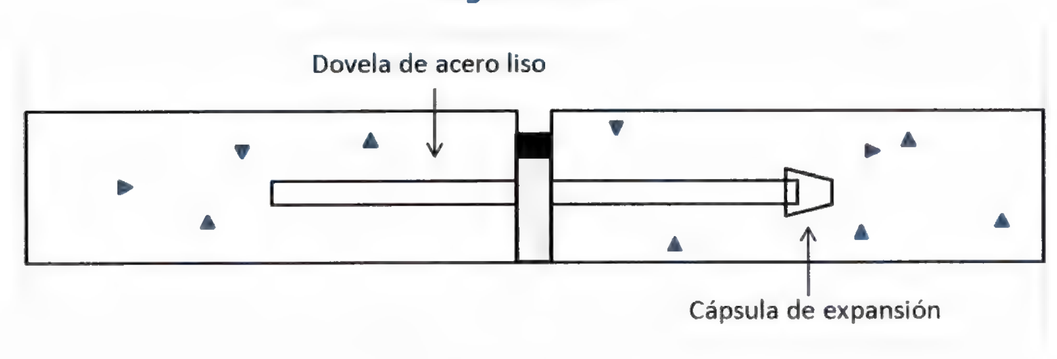
En determinados casos, puede ser necesario romper el pavimento existente en bloques de tamaño inferior a 0,2 m^2 que, deben ser adecuadamente apisonados y asentados con el rodillo, constituyéndose en el apoyo del nuevo pavimento flexible o rígido.

Además, de lo indicado con la aplicación del refuerzo en los pavimentos aparecen algunos problemas constructivos, cuyo detenido estudio debe ser la base para la adopción de la solución más correcta en cada caso; por ejemplo, considerar:

- El mantenimiento del tráfico durante la ejecución de los trabajos en condiciones aceptables, puede ser causa determinante de la elección del tipo de refuerzo.
- El aumento de espesor de la calzada crea un desnivel con las bermas, que por seguridad vial deben ser también niveladas.
- Debe tenerse en cuenta las posibles mejoras de drenaje.
- La solución de los eventuales problemas que puedan presentarse en ensanches del pavimento, en pequeñas correcciones de trazado y en la ejecución de bermas.
- Plano de distribución de juntas longitudinales y transversales.

14.7 Detalles típicos

Figura 14.10



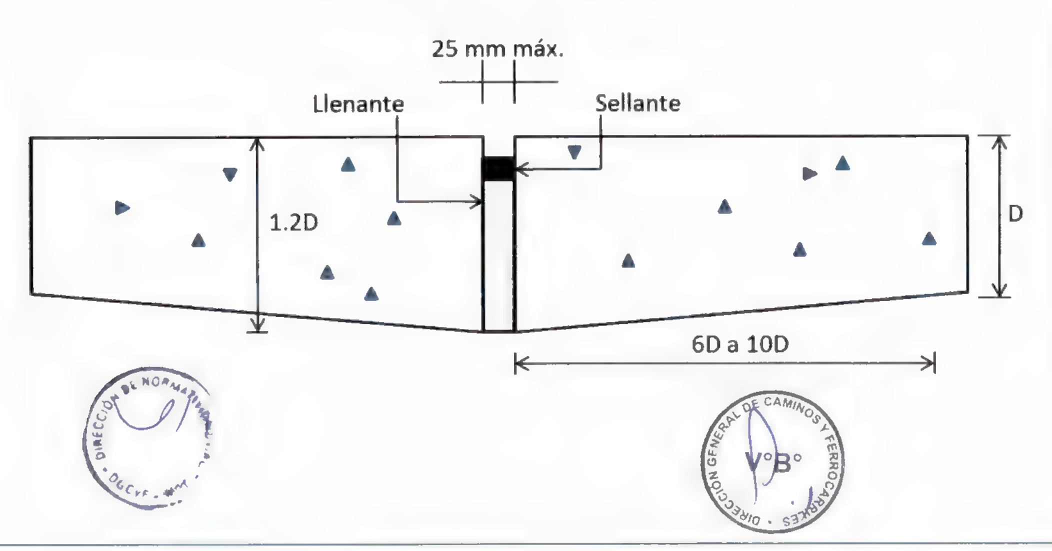
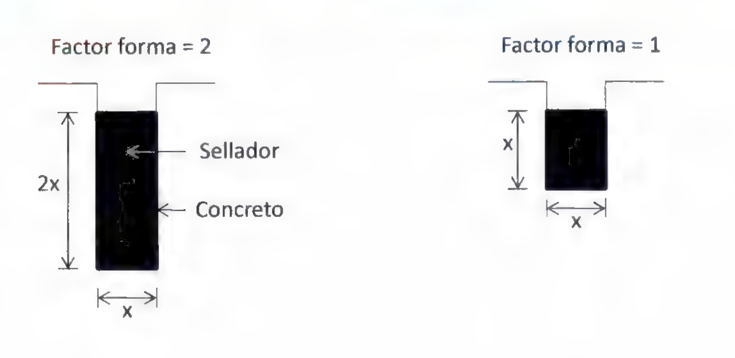
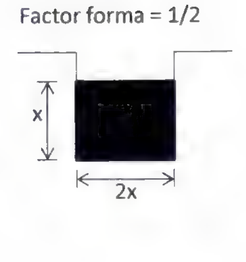
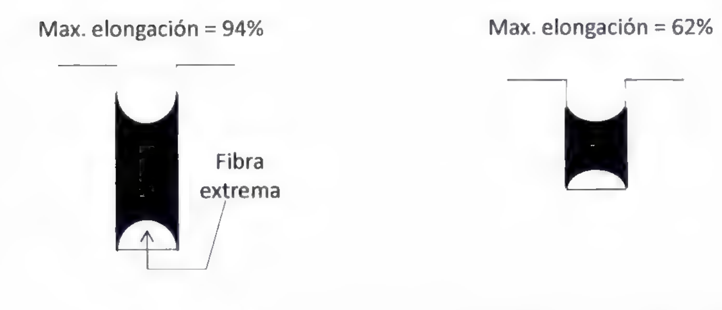


Figura 14.11


Factor forma = 2
Sellador
2x
Concreto
x
Factor forma = 1
x
x


Factor forma = 1/2
x
2x


Max. elongación = 94%
Fibra extrema
Max. elongación = 62%


Max. elongación = 32%

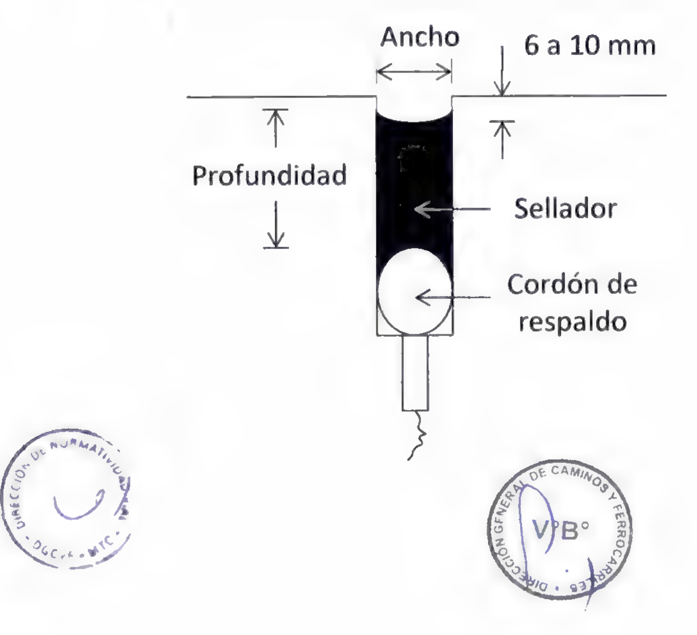
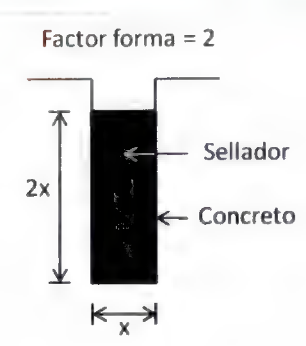
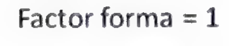
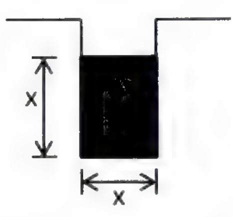

Ancho
6 a 10 mm
Profundidad
Sellador
Cordón de respaldo

Figura 14.11 (cont.)

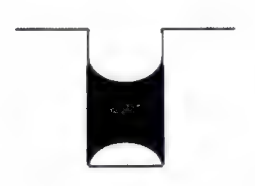


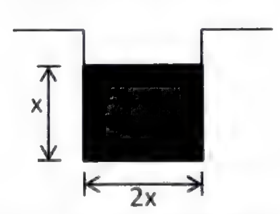












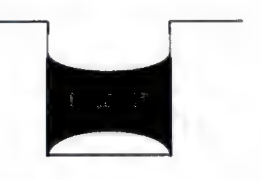
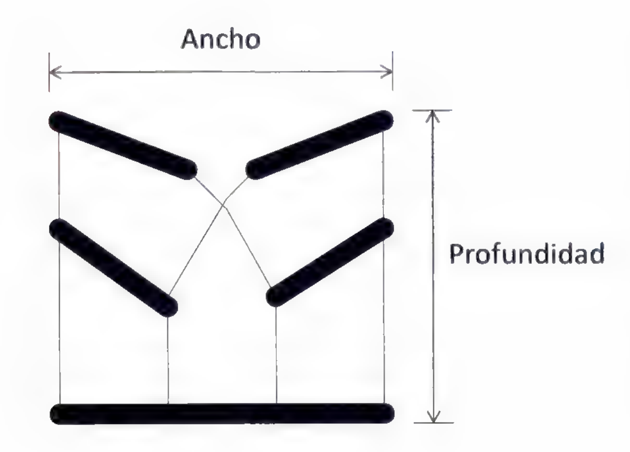






Figura 14.12



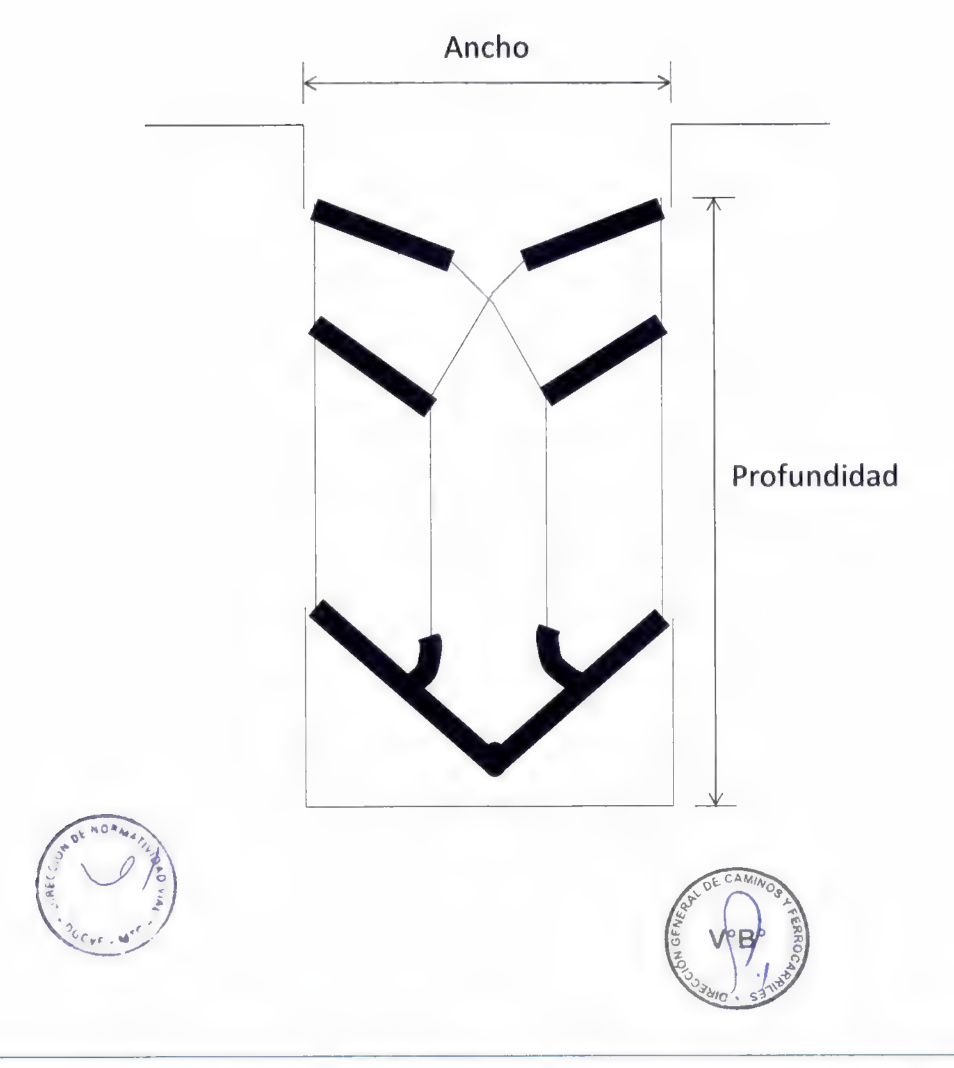
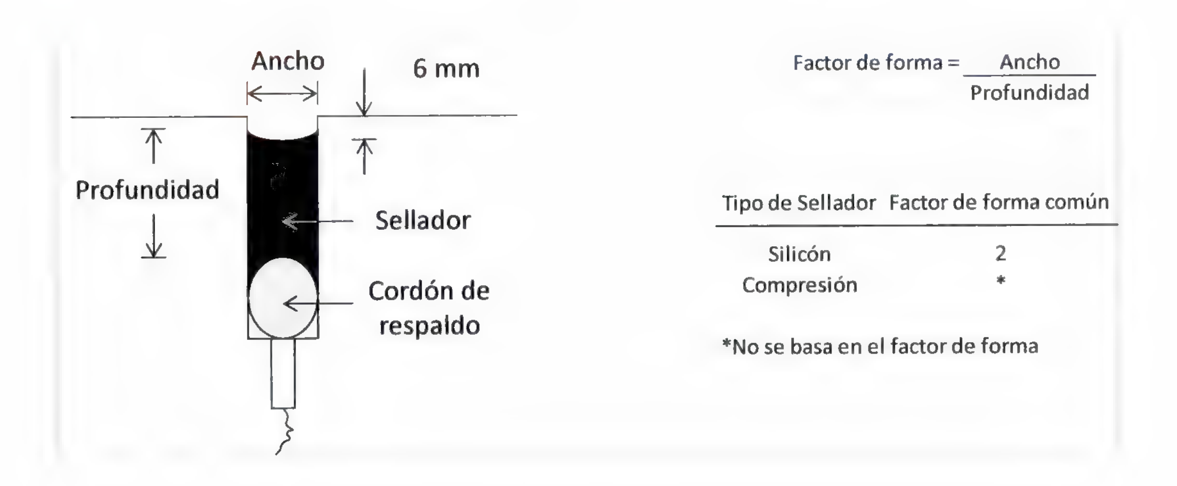


Figura 14.13


Ancho
6 mm
Profundidad
Sellador
Cordón de respaldo
Factor de forma = Ancho / Profundidad
Tipo de Sellador | Factor de forma común
Silicón | 2
Compresión | *
*No se basa en el factor de forma

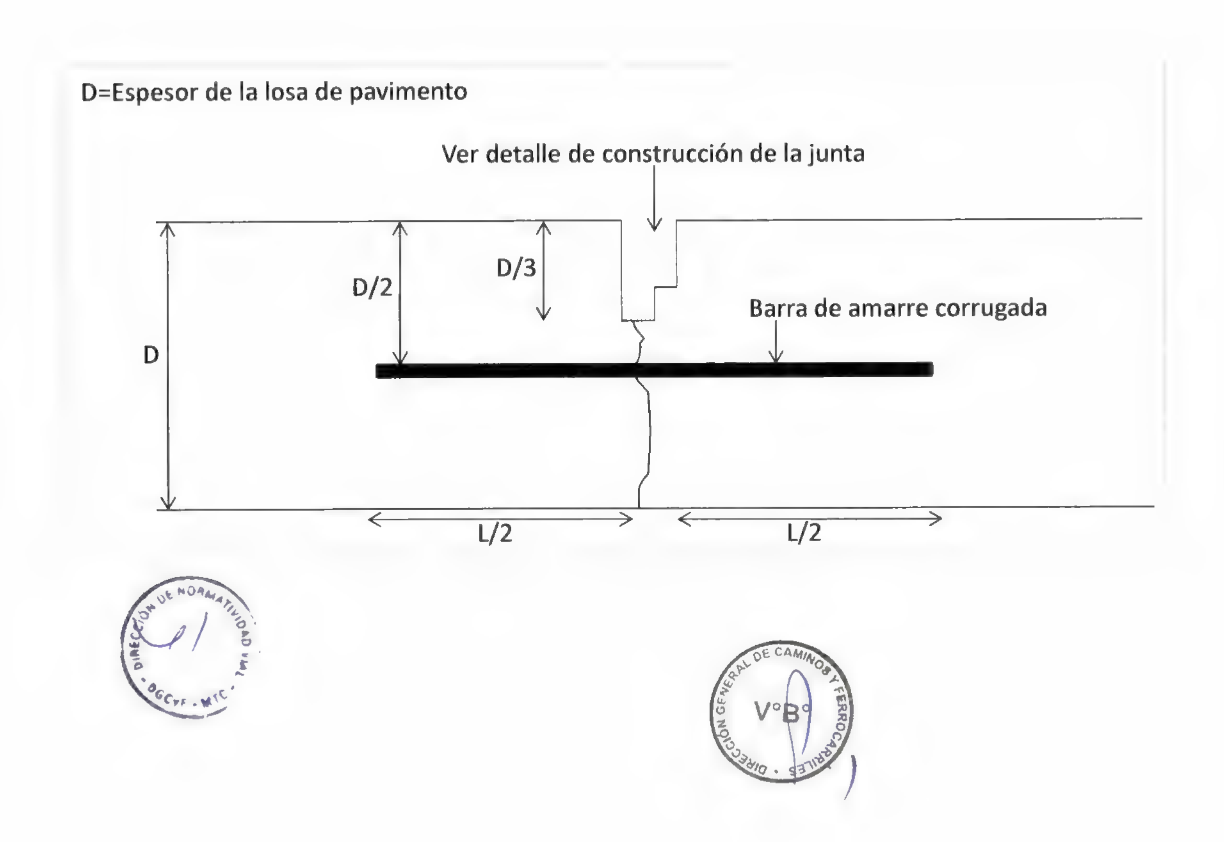
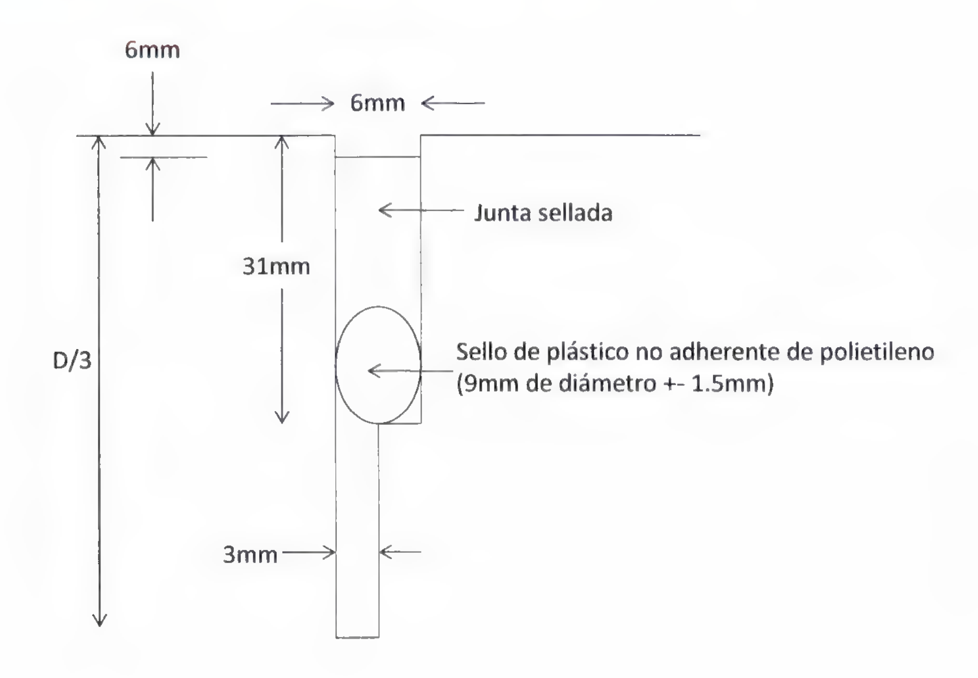

D=Espesor de la losa de pavimento
Ver detalle de construcción de la junta
D/2
D/3
D
Barra de amarre corrugada
L/2
L/2

Figura 14.14



D=Espesor de la losa de pavimento

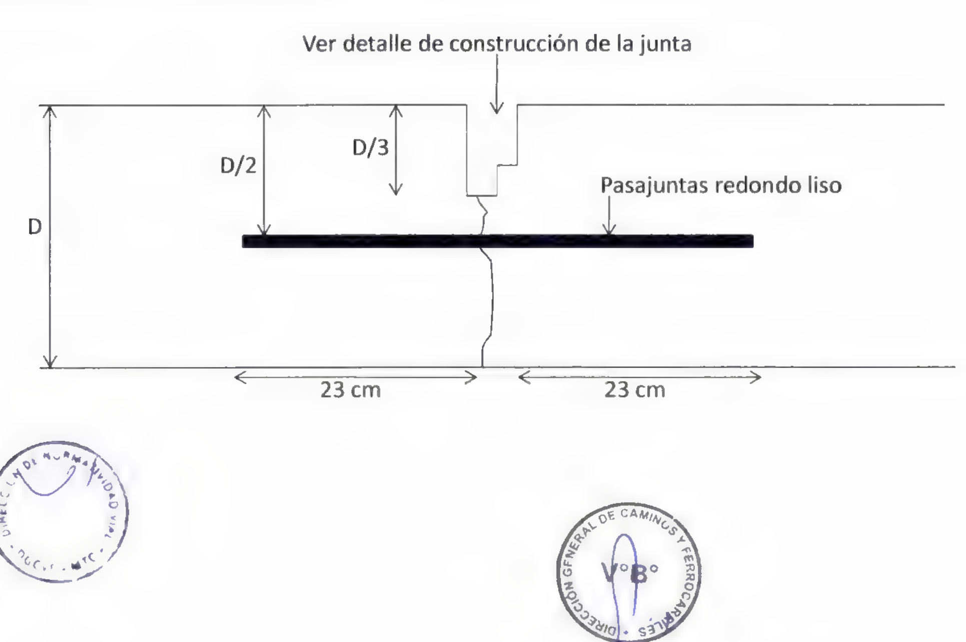
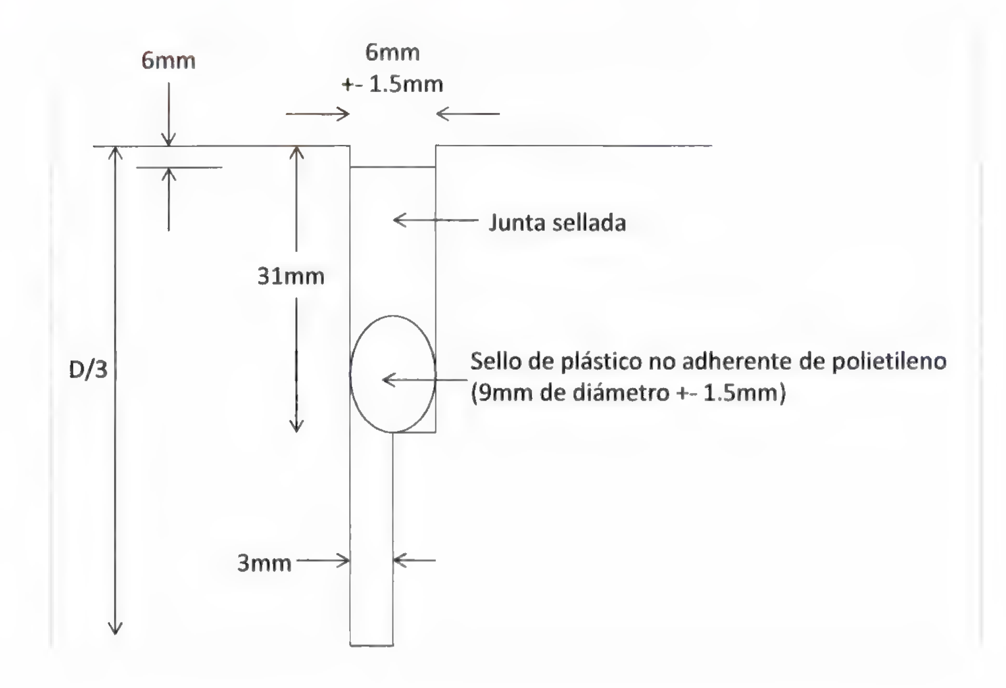
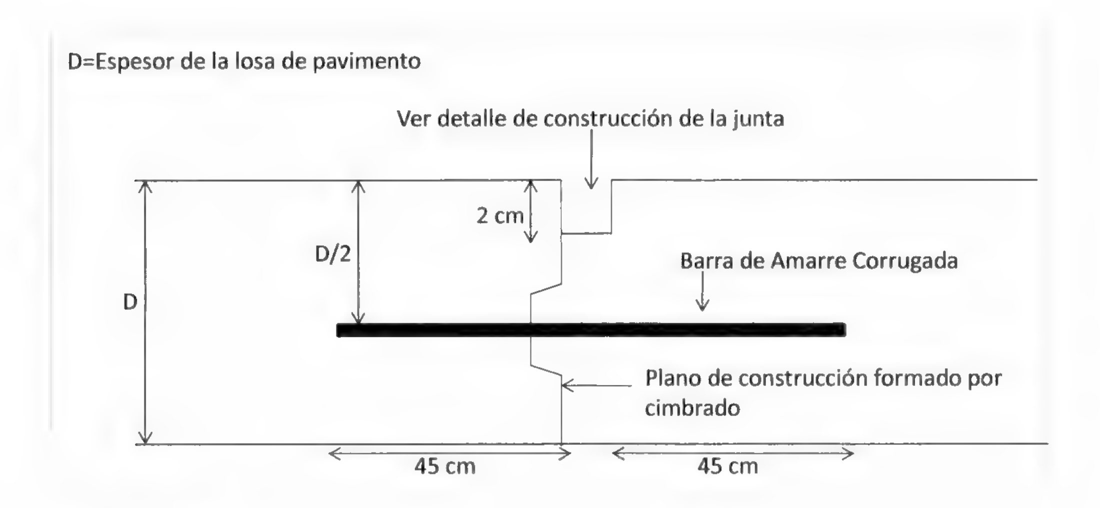


Figura 14.15

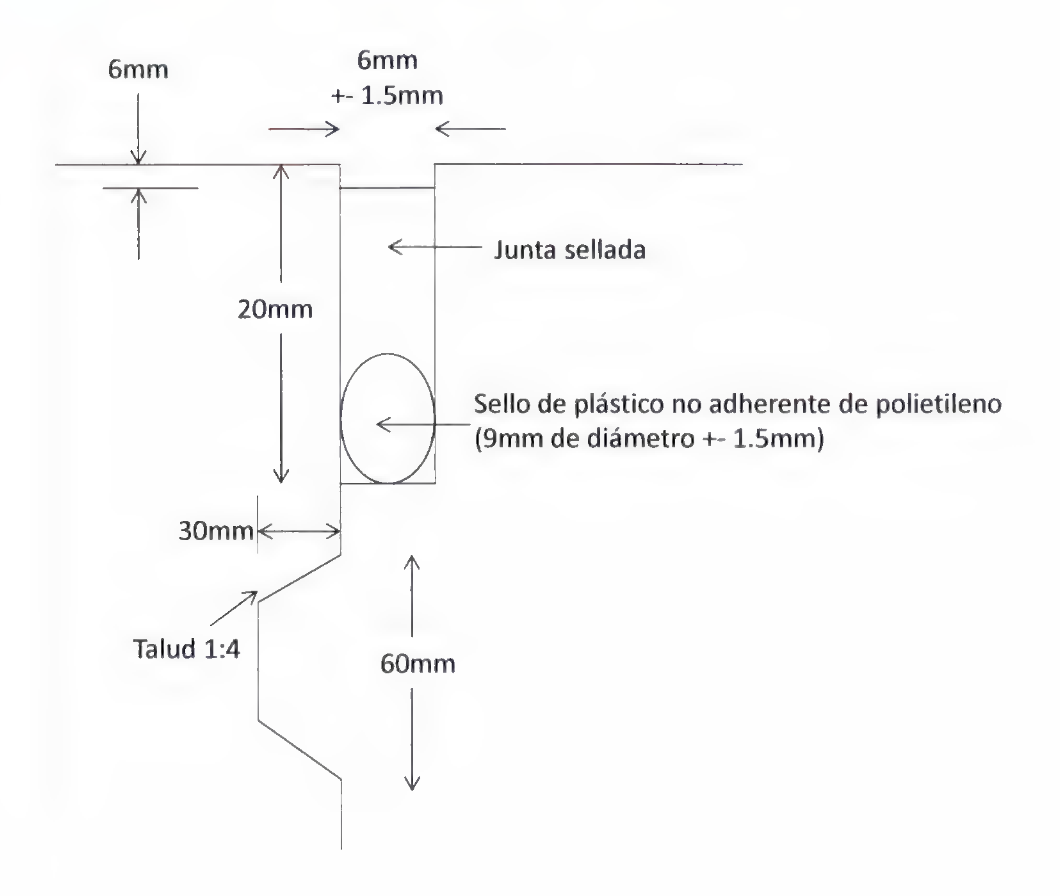

6mm
6mm
+- 1.5mm
Junta sellada
31mm
D/3
Sello de plástico no adherente de polietileno
(9mm de diámetro +- 1.5mm)
3mm


D=Espesor de la losa de pavimento
Ver detalle de construcción de la junta
2 cm
D/2
D
Barra de Amarre Corrugada
Plano de construcción formado por cimbrado
45 cm
45 cm




V°B°

Figura 14.16



D=Espesor de la losa de pavimento

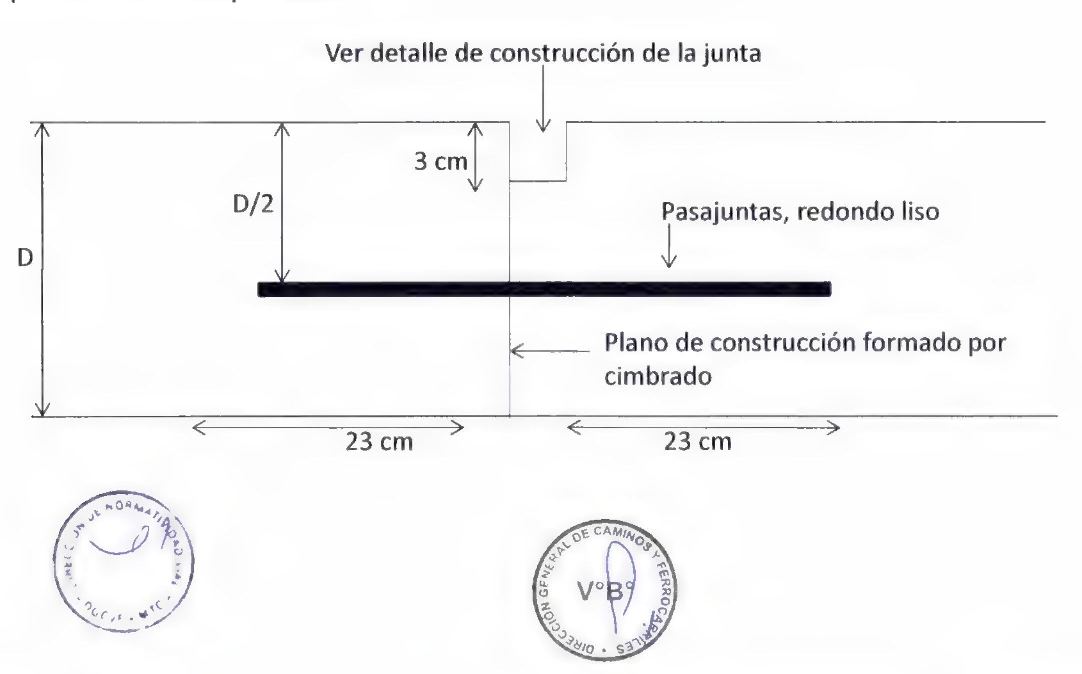
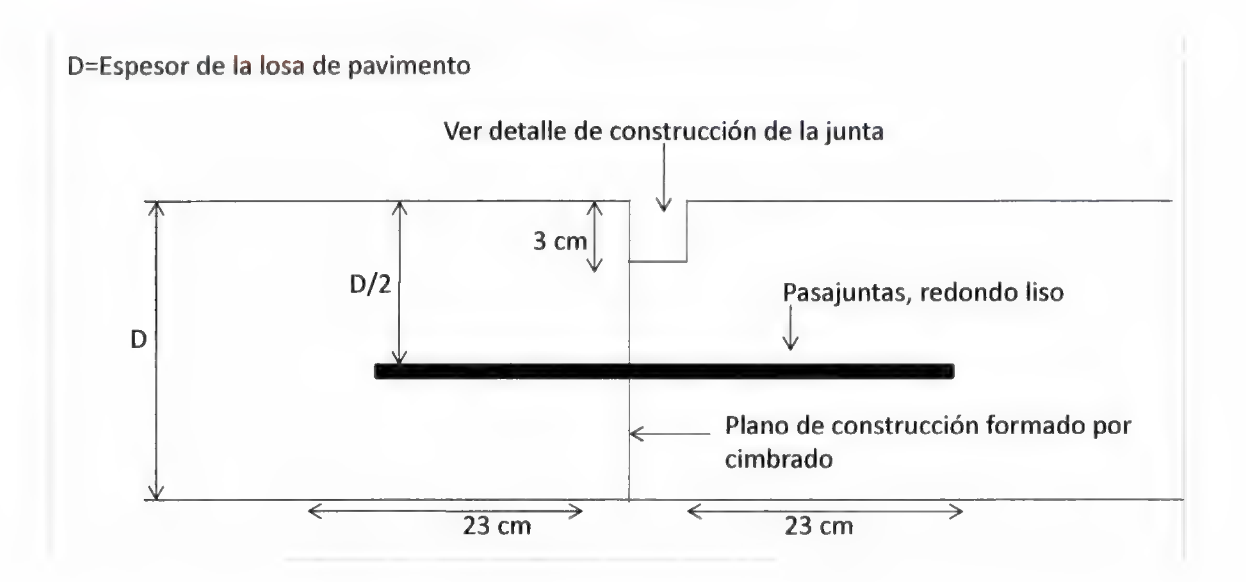


Figura 14.17


D=Espesor de la losa de pavimento
Ver detalle de construcción de la junta
3 cm
D/2
D
Pasajuntas, redondo liso
Plano de construcción formado por cimbrado
23 cm
23 cm

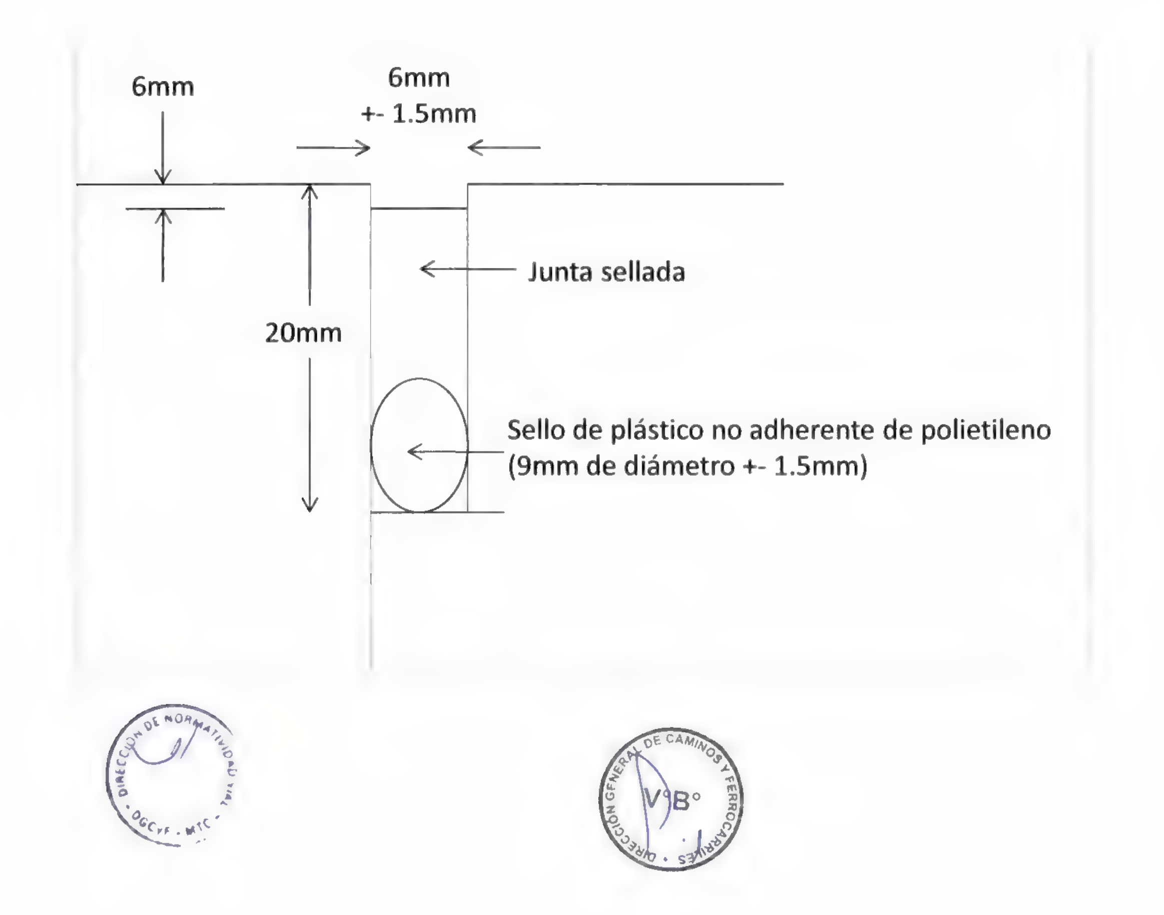
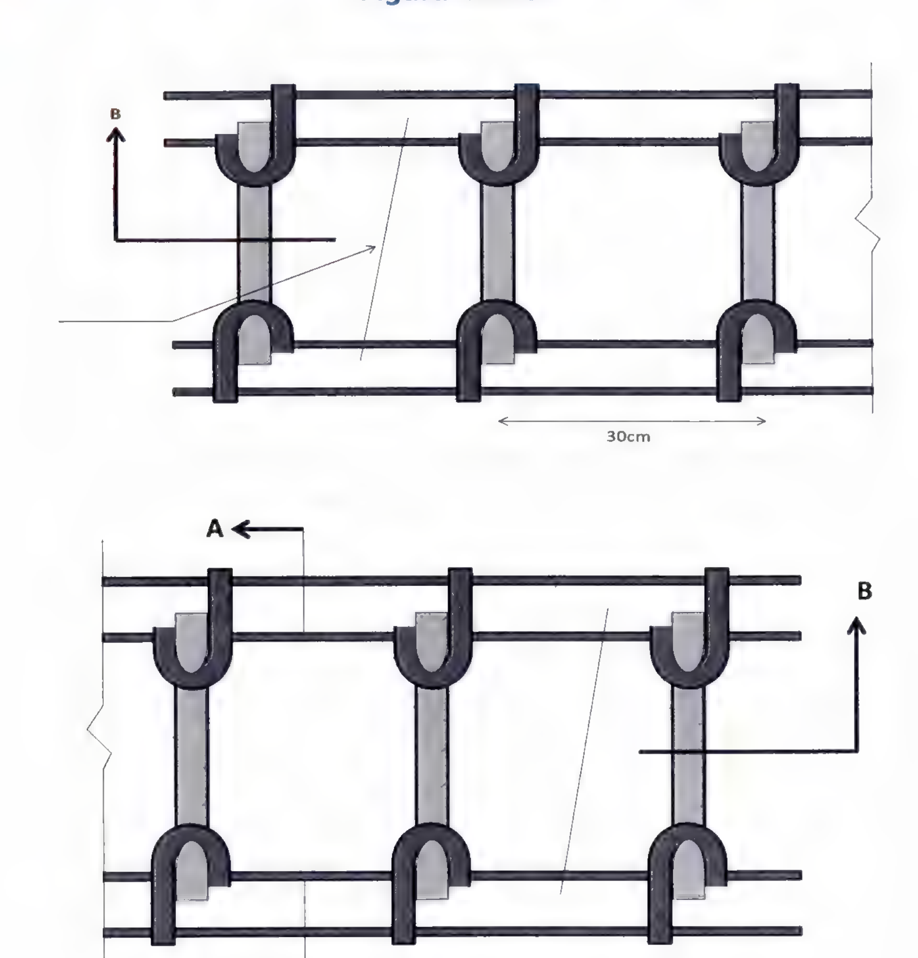
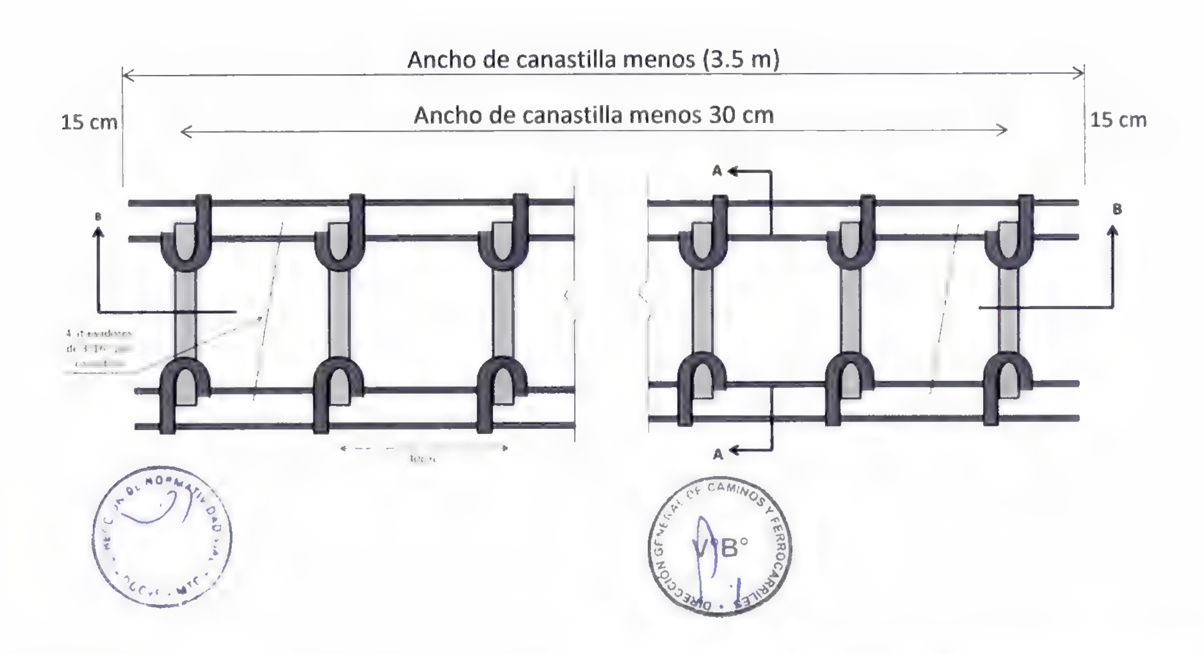
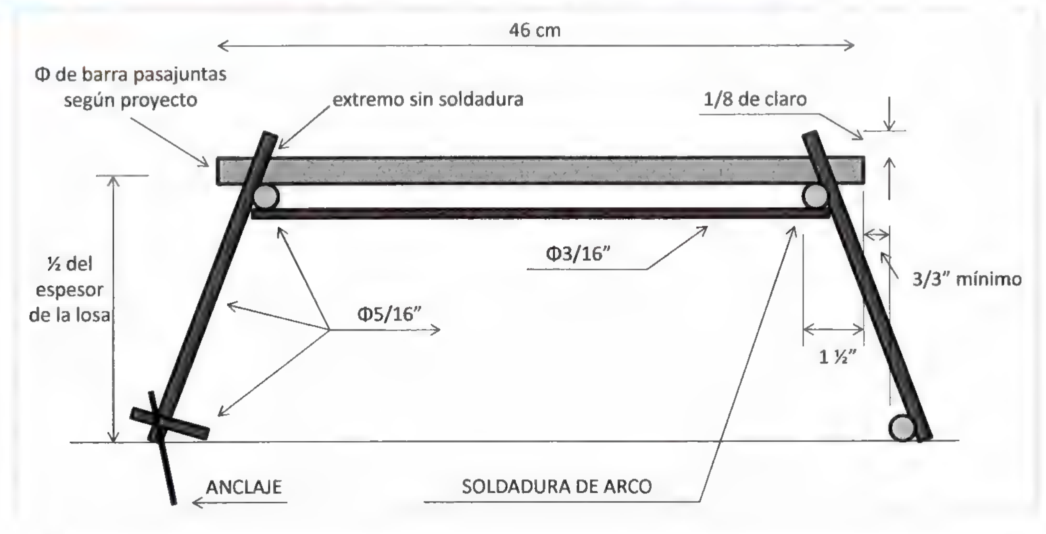
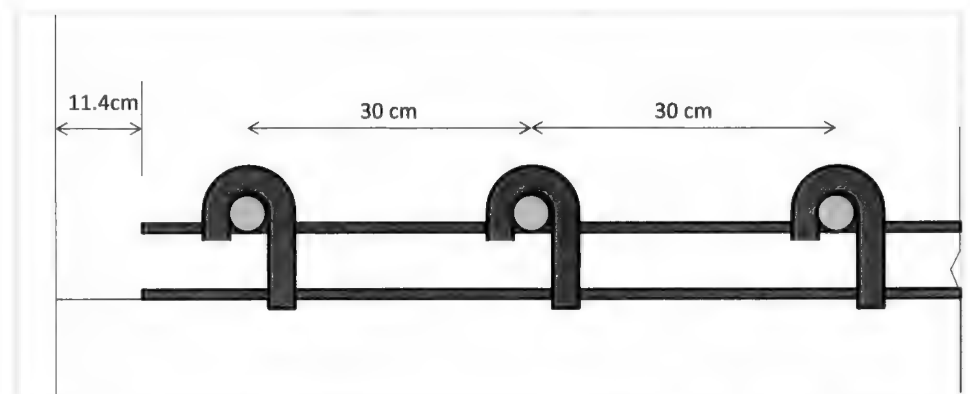

6mm
6mm
+- 1.5mm
Junta sellada
20mm
Sello de plástico no adherente de polietileno
(9mm de diámetro +- 1.5mm)

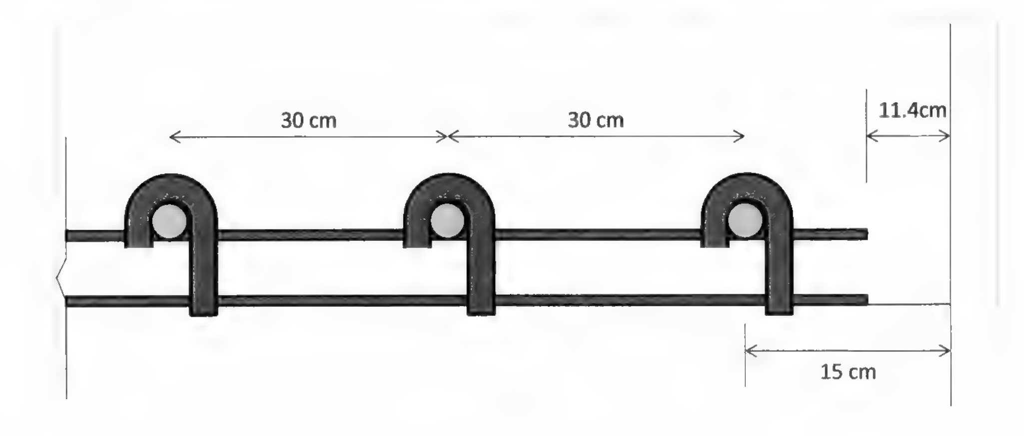
Figura 14.18

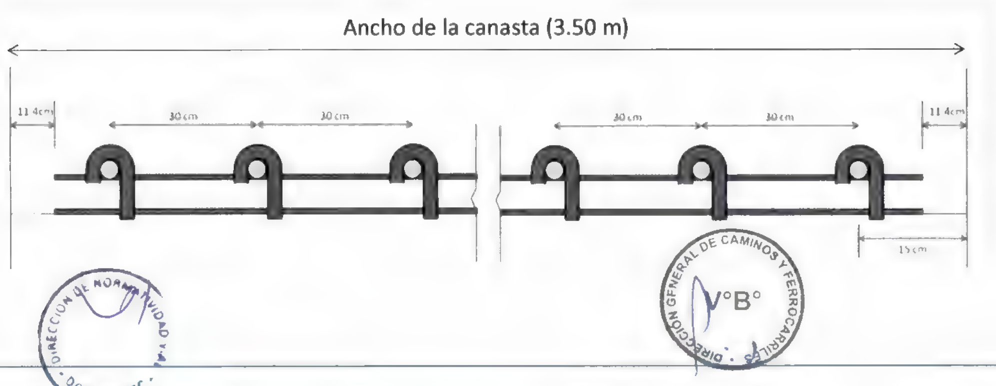

B
30cm
A
B
A


Ancho de canastilla menos (3.5 m)
15 cm
Ancho de canastilla menos 30 cm
15 cm
B
A
B
A
V°B°


46 cm
Φ de barra pasajuntas según proyecto
extremo sin soldadura
1/8 de claro
½ del espesor de la losa
Φ3/16"
3/3" mínimo
Φ5/16"
1 ½"
ANCLAJE
SOLDADURA DE ARCO


11.4cm
30 cm
30 cm


30 cm
30 cm
11.4cm
15 cm


Ancho de la canasta (3.50 m)

CAPÍTULO XV

ENSANCHE DE PAVIMENTOS





ENSANCHE DE PAVIMENTOS

Se diseñará y construirá la sección de ensanchamiento haciendo coincidir con cada una de las capas del pavimento existente. El número estructural total de la sección ensanchada debe ser igual o mayor al número estructural de la calzada principal.

El espesor de la capa asfáltica debe ser igual o mayor a la carpeta o losa de la calzada principal existente de tal manera de que se puede equilibrar las condiciones de resistencia. Además la nueva capa asfáltica debe cubrir parte de la calzada existente.

Las capas granulares (base y subbase) en principio deben armonizar con las capas granulares existentes.

Para el diseño el Ingeniero proyectista debe determinar los coeficientes estructurales de cada capa existente y proyectada, de tal manera que el número estructural del ensanchamiento en principio sea mayor al número estructural existente, incluyendo de ser el caso la estabilización de la sub rasante. Además tendrá en cuenta que el diseño sea sencillo en lo posible y que sea construible.

Los empalmes entre las capas de la estructura del pavimento existente y la ensanchada deben ser los adecuados, de tal manera que no ocasionen juntas abiertas o desplazamientos diferenciales, que evidencien fisuras o grietas futuras, por lo que se debe incluir el análisis y solución de la probable reflexión de fisuras en las zonas de empalme.

El ensanchamiento del pavimento incluye la reubicación de las bermas y cunetas y el correspondiente pavimento, tal como se indicó la estructura será coincidente con las capas del pavimento existente. Para el ensanchamiento, es importante contar con el diseño de la sección ampliada con los respectivos niveles y cotas, para contar con una adecuada reubicación de bermas, cunetas y obras complementarias necesarias para el buen funcionamiento de la vía en la zona ampliada o ensanchada.

Los materiales para los ensanches son los indicados en el **capítulo 10** del presente Norma y el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para, vigente.





CAPÍTULO XVI

COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS





COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS

16.1 Procedimiento general

El Manual introduce el concepto de comportamiento de un pavimento, el cual se define como la capacidad estructural medible a lo largo de su período de diseño. Este análisis deberá ser incorporado en los diseños de pavimentos que realice el Ingeniero Proyectista de Pavimentos. Para el indicado análisis, las actuales herramientas conocidas y utilizadas en el Perú, nos remiten a los modelos HDM del Banco Mundial; que incorporan submodelos de deterioro del pavimento.

En tal sentido, el comportamiento de las estructuras del pavimento propuesto en los catálogos del presente Manual, fue analizado con los modelos HDM III y HDM4 (Highway Development & Management), que incorporan submodelos de deterioro de pavimentos para caminos no pavimentados (afirmados), para caminos con pavimento flexible con superficie asfáltica y para caminos con pavimento rígido con losas de concreto de cemento Portland. El uso del modelo del HDMIII, es de amplia y reconocida aplicación en el País, este modelo incorpora submodelos de deterioro para caminos no pavimentados (afirmados) y para caminos con pavimento flexible con superficie asfáltica; además, ha desarrollado programas específicos para verificar el comportamiento o deterioro de los pavimentos, DETOUR (Deterioration of Engineered Unpaved Roads) para afirmados y HDM-PRD (HDM Paved Roads Deterioration Model) para pavimentos flexibles con superficie asfáltica.

No obstante, los Ingenieros Proyectistas podrán utilizar otros modelos de reconocida procedencia técnica institucional y que cuenten con la aceptación previa del MTC.

Para seleccionar una estructura de pavimento, primero se efectúan diseños alternativos de pavimento nuevo, siguiendo la metodología AASHTO-93. De los tres parámetros básicos a considerar en el método de dimensionamiento: tráfico, sub rasante y condiciones climáticas, los dos primeros se consideran como entradas para determinar las posibles estructuras, mientras que la última se tiene en cuenta en los criterios para seleccionar los materiales y en algunas recomendaciones específicas.

Una vez definidas las alternativas de pavimento, estas estructuras son analizadas y se verifica el comportamiento para el periodo de diseño, mediante el modelo de deterioro del HDM, a fin de determinar la predicción de fallas y rugosidad, durante el periodo de análisis, que para el caso de los afirmados será de 10 años, de los pavimentos flexibles será de 20 años, considerando dos etapas de 10 años y una sola etapa de 20 años, de los pavimentos semirrígidos y rígidos será para una etapa de 20 años. Si el diseño no cumple con los criterios de comportamiento o los niveles de servicio, se revisará el diseño y se repetirá la evaluación, o se propondrá renovación superficial como sellos asfálticos o refuerzos, hasta optimizar el diseño de la estructura de pavimento que se seleccione o adopte para un tramo específico.

El proceso para el dimensionamiento de las estructuras de pavimento y selección de la estructura de pavimento adoptada para un tramo en particular, se esquematiza en la siguiente figura:

Figura 16.1

PROCESO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO Y SELECCIÓN DEL PAVIMENTO ADOPTADO

SOLICITACIONES
DETERMINAR LAS CARGAS ACTUANTES
REDUCIRLO A EJES EQUIVALENTES O CARGAS
CALCULAR EL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADO EN EL PERIODO DE PROYECTO
EVALUAR LA PRESIÓN Y EL ÁREA DE CONTACTO

FACTORES
TEMPERATURA, HUMEDAD, ETC

SOPORTE
DEFINIR EL TIPO DE SUBRASANTE

ESTRUCTURA A PROYECTAR
DISEÑO DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO
ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO MEDIANTE MODELO SELECCIONADO (HDM-PRD, HDM4 u OTRO

DEFINIR LOS PARÁMETROS DE SERVICIO
DTERMINAR LOS PARÁMETROS DE SERVICIO ADMISIBLES O LEYES DE FATIGA

CALCULAR DETERIORO ANUAL DEL PAVIMENTO

PARÁMETROS DE SERVICIO CUMPLEN LOS VALORES ADMISIBLES

NO
HACER AJUSTE EN EL DISEÑO

SI
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO SELECIONADA

FIN

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL
DGCyF · MTC

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
V°B°

16.2 Niveles de servicio

Los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

La conservación del pavimento durante el periodo de servicio, debe estar asociada al cumplimiento de los niveles de servicio, el trabajo de conservación que se realice será para cumplir los estándares admisibles, siendo una obligación que la carretera se conserve en condiciones aceptables y dentro de los niveles de servicio admisibles para el periodo de diseño.

Los niveles de servicio básico a controlar, están referidos a lo siguiente:

a. Caminos No Pavimentados: Afirmados
   - Control de Perfilado
   - Control de Rugosidad
   - Control del Espesor de la Capa de Afirmado

b. Caminos Pavimentados: Pavimentos Flexibles, Semirrígidos
   - Control de Fisuras y Baches
   - Control de Ahuellamiento
   - Control de Textura Superficial
   - Control de Rugosidad
   - Control de Deflexiones

c. Caminos Pavimentados: Pavimentos Rígidos
   - Control de Fisuras y Baches
   - Control de Sello de Juntas
   - Control de Rugosidad

16.2.1 Caminos No Pavimentados: Afirmados

Los niveles de servicio recomendados para los caminos afirmados, son:

a) Perfilado de la superficie: mínimo una vez al año.
b) Baches: No se admitirán, significa que cada vez que aparezca un bache o hueco debe ser reparado mediante bacheo.
c) Control de Polvo: Permanente
d) Reposición de Afirmado, espesor mínimo admisible 150 mm, se colocará una regrava para recuperar espesor perdido.

e) Rugosidad:





Cuadro 16.1
Rugosidad IRI (m/km)
Caminos No Pavimentados – Afirmados

TIPO DE CARRETERA	RUGOSIDAD CARACTERÍSTICA INICIAL AFIRMADO NUEVO IRI (M/KM)	RUGOSIDAD CARACTERÍSTICA INICIAL AFIRMADO CON RECAPA IRI (M/KM)	RUGOSIDAD CARACTERÍSTICA DURANTE EL PERIODO DE SERVICIO IRI (M/KM)	OBSERVACIÓN
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito No Pavimentadas - Afirmadas.	5.00	6.00	8.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 70%

16.2.2 Caminos pavimentados: pavimentos flexibles, semirrígidos

Los niveles de servicio recomendados para los caminos afirmados, son:

a) Fisuras y baches: No se admitirán. Significa que cada vez que aparezca una fisura o bache, debe ser prontamente sellada o parchada.

b) Ahuellamiento: Corrección de ahuellamientos mayores a 12mm

Cuadro 16.2
Magnitud del Ahuellamiento (mm)

DESCRIPCIÓN	ESCASA	MODERADA	SEVERA
Ahuellamiento (mm)	< 6 mm	6 a 12 mm	> 12 mm

Fuente: Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País - CONREVIAL

c) Textura Superficial: valor admisible condición regular indicado en el siguiente cuadro

Cuadro 16.3
Textura Superficial

TEXTURA SUPERFICIAL	SUPERFICIE DE RODADURA TRATAMIENTO SUPERFICIAL		SUPERFICIE DE RODADURA MEZCLA ASFÁLTICA	
	TEXTURA (MM)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN (SCRIM A 50 KM/H)	TEXTURA (MM)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN (SCRIM A 50 KM/H)
Buena	1.50	0.60	0.70	0.50
Regular	0.70	0.45	0.50	0.40
Mala (superficie resbaladiza)	0.30	0.30	0.30	0.30

Fuente: HDM4 Tabla de parámetros globales





d) Rugosidad IRI (m/km):

Cuadro 16.4
Valores de Rugosidad Admisible IRI (m/km)
Según Tipo de Carretera

TIPO DE CARRETERA	RUGOSIDAD CARACTERÍSTICA INICIAL PAVIMENTO NUEVO IRI (M/KM)	RUGOSIDAD CARACTERÍSTICA INICIAL PAVIMENTO REFORZADO IRI (M/KM)	RUGOSIDAD CARACTERÍSTICA DURANTE EL PERIODO DE SERVICIO IRI (M/KM)	OBSERVACIÓN
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 98%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 85%

e) Deflexiones: Las deflexiones se comparan con el valor límite admisible, que es la deflexión tolerable que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar. Para el presente manual se ha adoptado la relación propuesta por CONREVIAL:

$$Dadm = (1.15/N)^{0.25}$$





Cuadro 16.5
Definición de Deflexión Característica Según Tipo de Carretera

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	Dc = Dm + 2.000xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 98%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	Dc = Dm + 1.645xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.645xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.282xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	Dc = Dm + 1.282xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	Dc = Dm + 1.036xds	Deflexión característica, para una Confiabilidad de 85%

Nota: Dc = Deflexión característica, Dm = Deflexión media, ds = desviación estándar

f) Para el tratamiento preventivo de la superficie del pavimento, se presentan algunas reparaciones típicas recomendadas por AASHTO:

Cuadro 16.6
Reparaciones y Procedimiento Preventivos para Pavimento Flexible (AASHTO 93)

Deterioro	Reparaciones	Procedimientos preventivos
Fisuras en piel de cocodrilo	Reparación en espesor total	Sellado de fisuras
Exudación	Aplicar arena caliente	
Fisuras en bloque	Sellado de fisuras	
Depresión	Capa Nivelante	
Agregados pulidos	Resistencia al deslizamiento Tratamiento superficial. Sello	
Baches	Parchado Profundo	Sellado de fisuras y sellos de capa
Bombeo	Parchado Profundo	Sellado de fisuras y sellos de capa
Descascaramiento y oxidación	Sellos de capa	Sello o Lechada Asfáltica rejuvenecedor
Ahuellamiento	Capa Nivelante y Fresado en frio	
Abultamiento	Remoción y reemplazo	Impermeabilización de la berma

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL DGCyF
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

16.2.3 Caminos Pavimentados: Pavimentos Rígidos

a) Fisuras y Baches: No se admitirán. Significa que cada vez que aparezca una fisura o bache, deben ser prontamente sellada o parchada.

b) Sello de Juntas: control permanente, renovación cada 6 años

c) Rugosidad: lo valores admisibles son los indicados en el **cuadro 16.4.**

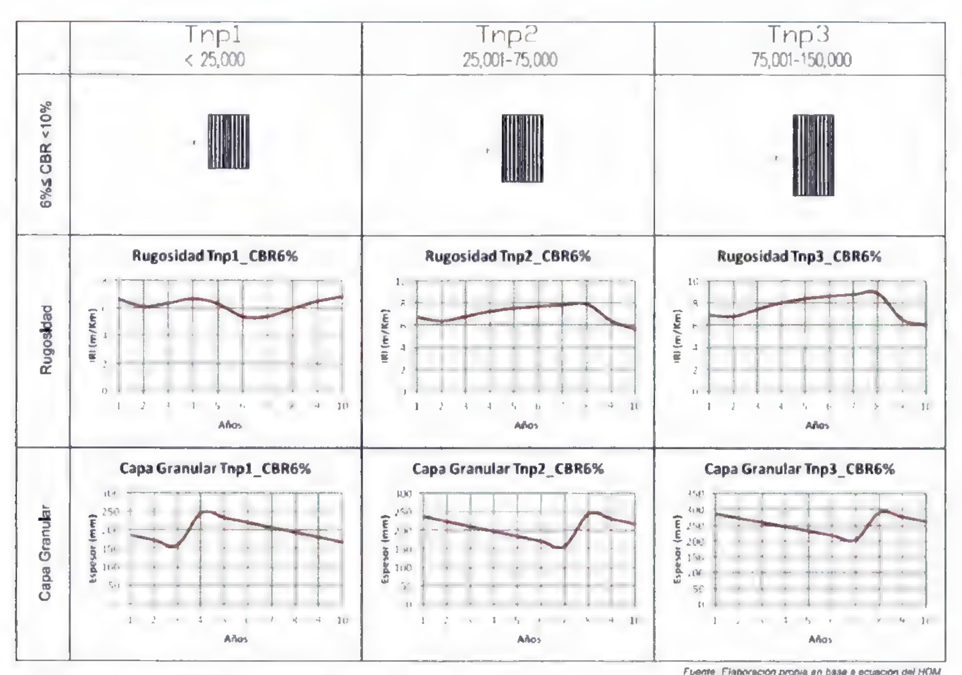
16.3 Ejemplos de verificación de estructuras de pavimento por niveles de servicio

A continuación se presenta una serie de ejemplos de verificación de los niveles de servicio, durante el periodo de diseño de la estructura de pavimento, propuestas para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Pavimentos Rígidos.



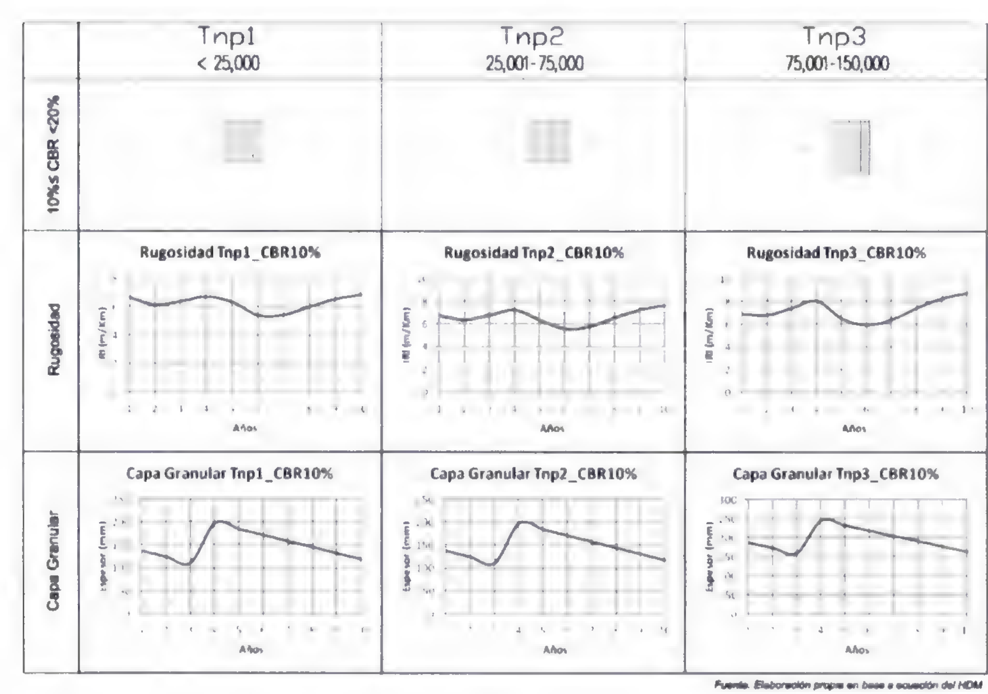


Figura 16.2
Catálogo de Capas de Revestimiento Granular (afirmado) (periodo de diseño 10 años)



Fuente: Elaboración propia en base a ecuación del HDM

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos, será definido en estudio especial.
2. Rango de Tráfico en Numero de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril de diseño.
3. Las Evaluaciones Superficiales del pavimento; Inventario de Condición se efectuará al menos una vez cada año,
4. Efectuar Perfilado periódicamente por lo menos una vez cada año,



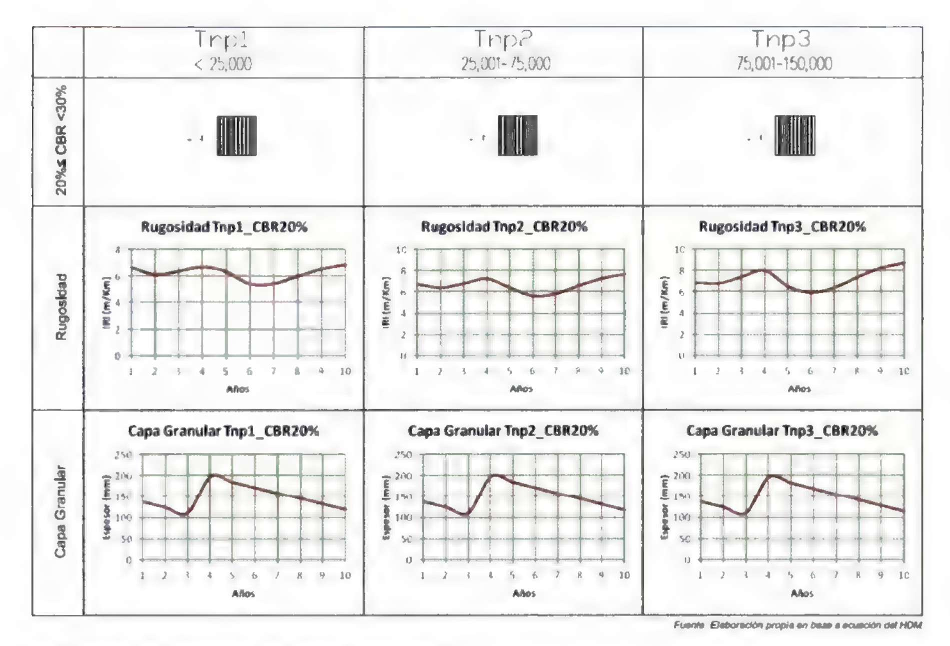
Fuente: Elaboración propia en base a ecuación del HDM

Nota 1 (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos, será definido en estudio especial
2 Rango de Tráfico en Numero de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril de diseño
3 Las Evaluaciones Superficiales del pavimento, Inventario de Condición, se efectuará al menos una vez cada año
4 Efectuar Perfilado periódicamente por lo menos una vez cada año

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD



Figura 16.2a
Catálogo de Capas de Revestimiento Granular (afirmado)
(periodo de diseño 10 años)



Fuente: Elaboración propia en base a ecuación del HDM

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos, será definido en estudio especial.
2. Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril de diseño.
3. Las Evaluaciones Superficiales del pavimento: Inventario de Condición se efectuará al menos una vez cada año.
4. Efectuar Perfilado periódicamente por lo menos una vez cada año.

	Tnp1 < 25,000	Tnp2 25,001-75,000	Tnp3 75,001-150,000
30%≤ CBR			
Rugosidad	Rugosidad Tnp1_CBR30%	Rugosidad Tnp2_CBR30%	Rugosidad Tnp3_CBR30%
Capa Granular	Capa Granular Tnp1_CBR30%	Capa Granular Tnp2_CBR30%	Capa Granular Tnp3_CBR30%

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación del HDM

Nota: 1. (*) Espesor y tipo de estabilización de suelos, será definido en estudio especial.
2. Rango de Tráfico en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes en el carril de diseño.
3. Las Evaluaciones Superficiales del pavimento: Inventario de Condición se efectuará al menos una vez cada año.
4. Efectuar Perfilado periódicamente por lo menos una vez cada año.

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL DGCF-MTC



Figura 16.3
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles (periodo de 10 y 20 años)

	Tp5	
	1'000,01 – 1'000,00	
	1 Etapa (20 años)	2 Etapa (10 años cada una)
6%≤ CBR <10%	8cm 25cm 17cm	7cm 25cm 15cm 6cm
Rugosidad	Rugosidad Tp5_CBR 6% IRI (0.00–4.50) vs. Años (0–20) Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp5_CBR 6% IRI (0.00–4.50) vs. Años (0–20) Rugosidad Adm.
Deflexión	Deflexion Tp5_CBR 6% mm (0.000–1.200) vs. Años (0–20) Deflexion Adm.	Deflexion Tp5_CBR 6% mm (0.000–1.200) vs. Años (0–20) Deflexion Adm.
Ahuellamiento	Ahuellamiento Tp5_CBR 6% Profundidad (mm) (0.0–3.0) vs. Años (0–20)	Ahuellamiento Tp5_CBR 6% Profundidad (mm) (0.0–3.0) vs. Años (0–20)





Figura 16.3a
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles (periodo de 10 y 20 años)

	Tp6	
	1'500,01 – 3'000,00	
	1 Etapa (20 años)	2 Etapa (10 años cada una)
10%≤ CBR <20%	9cm 23cm 15cm	8cm 20cm 16cm 6cm
Rugosidad	Rugosidad Tp6_CBR 10% IRI (0.00 – 4.50); Años (0 – 20) Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp6_CBR 10% IRI (0.00 – 4.50); Años (0 – 20) Rugosidad Adm.
Deflexión	Deflexion Tp6_CBR 10% mm (0.000 – 0.900); Años (0 – 20) Deflexion Adm.	Deflexion Tp6_CBR 10% mm (0.000 – 0.900); Años (0 – 20) Deflexion Adm.
Ahuellamiento	Ahuellamiento Tp6_CBR 10% Profundidad (mm) (0.0 – 3.0); Años (0 – 20)	Ahuellamiento Tp6_CBR 10% Profundidad (mm) (0.0 – 3.0); Años (0 – 20)

Figura 16.3b
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles (periodo de 10 y 20 años)

	Tp7	
	3'000,01 – 5'000,00	
	1 Etapa (20 años)	2 Etapa (10 años cada una)
20%≤ CBR <30%	10cm 28cm	9cm 26cm 6cm
Rugosidad	Rugosidad Tp7_CBR 20% IRI (0.00–4.50) Años (0–20) Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp7_CBR 20% IRI (0.00–4.50) Años (0–20) Rugosidad Adm.
Deflexión	Deflexion Tp7_CBR 20% mm (0.000–0.800) Años (0–20) Deflexion Adm.	Deflexion Tp7_CBR 20% mm (0.000–0.800) Años (0–20) Deflexion Adm.
Ahuellamiento	Ahuellamiento Tp7_CBR 20% Profundidad (mm) (0.0–3.0) Años (0–20)	Ahuellamiento Tp7_CBR 20% Profundidad (mm) (0.0–3.0) Años (0–20)

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES V°B°

Figura 16.3c
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles
(periodo de 10 y 20 años)

	Tp8	
	5'000,01 – 7'500,00	
	1 Etapa (20 años)	2 Etapa (10 años cada una)
30%≤ CBR	11cm 24cm	10cm 23cm 5cm
Rugosidad	Rugosidad Tp8_CBR 30%	Rugosidad Tp8_CBR 30%
Deflexión	Deflexion Tp8_CBR 30%	Deflexion Tp8_CBR 30%
Ahuellamiento	Ahuellamiento Tp8_CBR 30%	Ahuellamiento Tp8_CBR 30%





Figura 16.3d
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles
(periodo de 10 y 20 años)

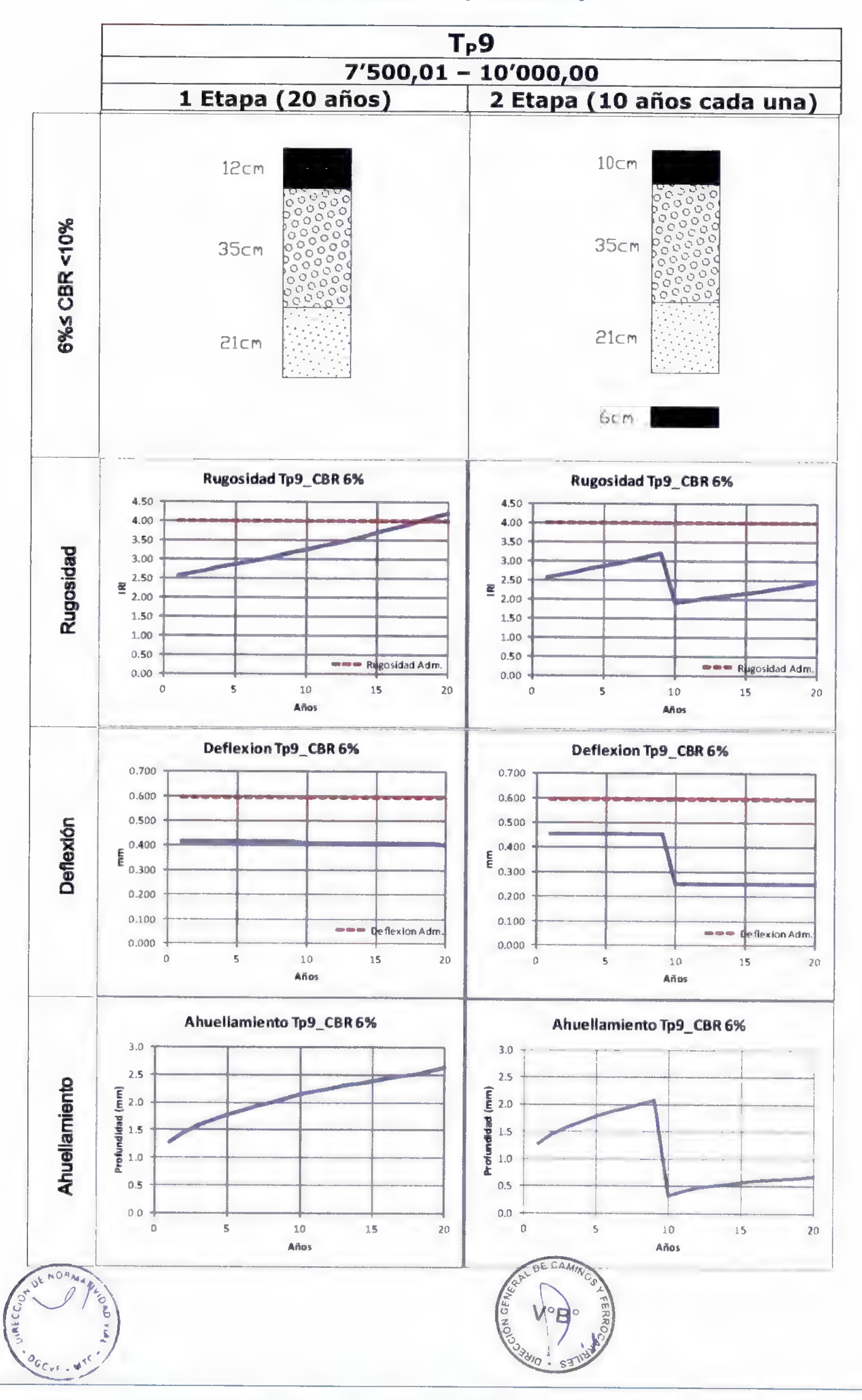


Figura 16.3e
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles (periodo de 10 y 20 años)

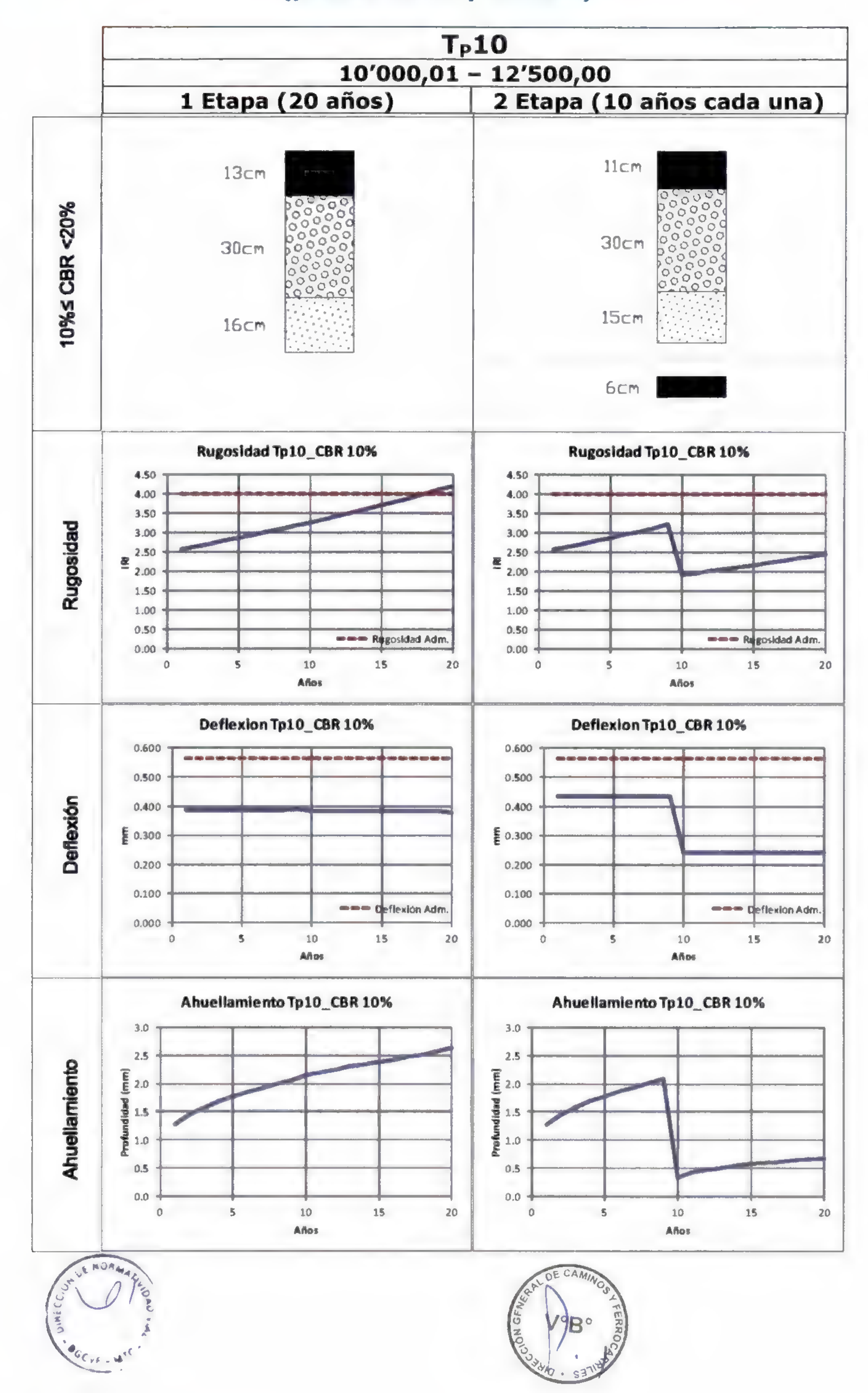


Figura 16.3f
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles
periodo de 10 y 20 años)

	Tp11	
	12'500,01 – 15'000,00	
	1 Etapa (20 años)	2 Etapa (10 años cada una)
20%≤ CBR <30%	15cm 31cm	11cm 20cm 15cm 6cm
Rugosidad	Rugosidad Tp11_CBR 20% IRI: 0.00 – 5.00; Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp11_CBR 20% IRI: 0.00 – 5.00; Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.
Deflexión	Deflexion Tp11_CBR 20% mm: 0.000 – 0.600; Años: 0 – 20 Deflexion Adm.	Deflexion Tp11_CBR 20% mm: 0.000 – 0.600; Años: 0 – 20 Deflexion Adm.
Ahuellamiento	Ahuellamiento Tp11_CBR 20% Profundidad (mm): 0.0 – 3.0; Años: 0 – 20	Ahuellamiento Tp11_CBR 20% Profundidad (mm): 0.0 – 3.0; Años: 0 – 20

DIRECCIÓN DE NORMATIVIDAD VIAL · DGCyF · MTC ·
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES · VºBº

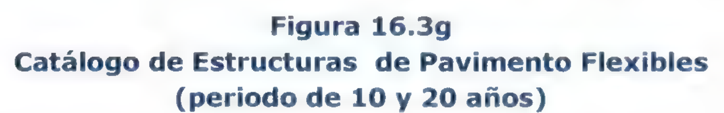


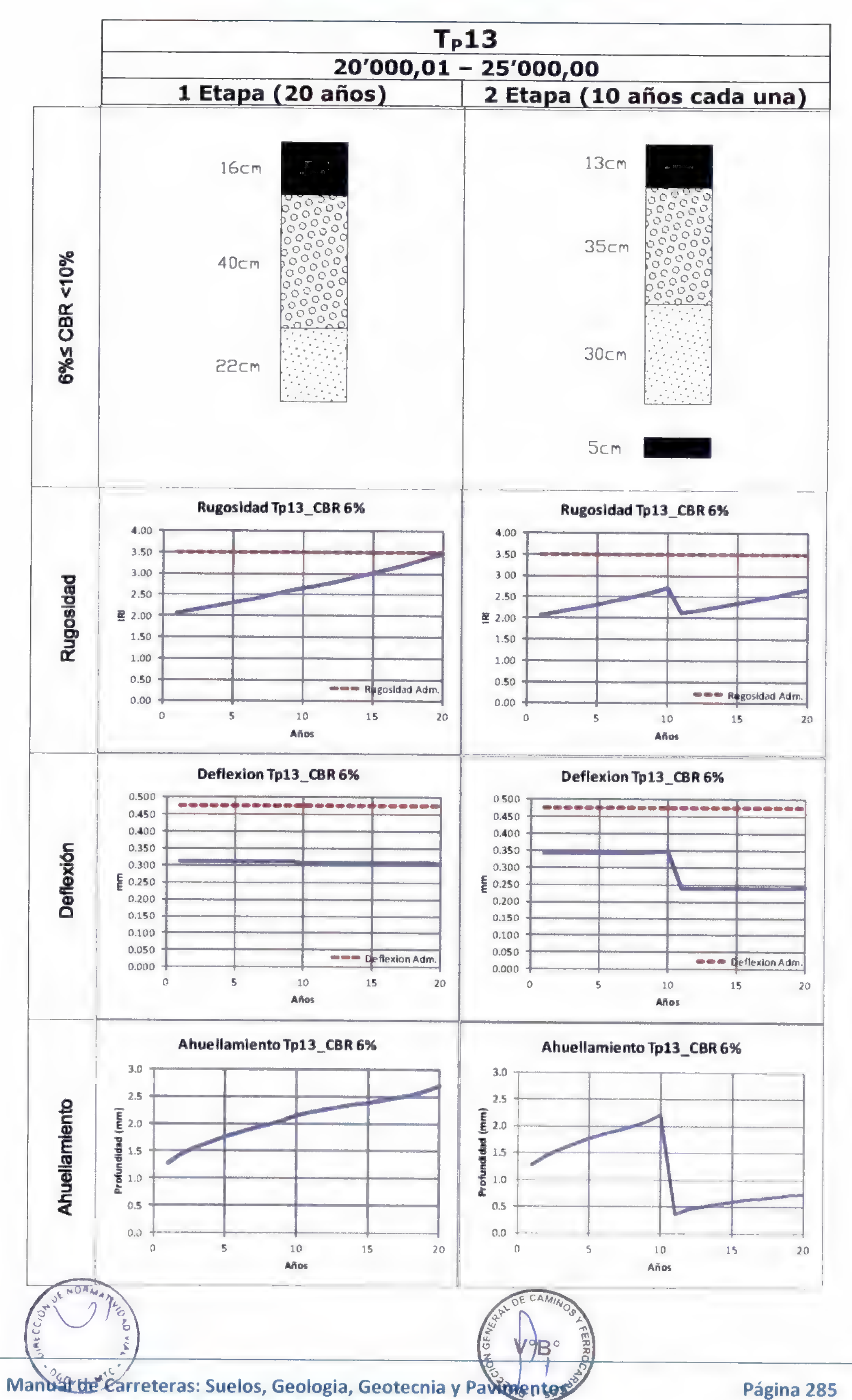
Figura 16.3g
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles
(periodo de 10 y 20 años)

	Tp12	
	15'000,01 – 20'000,00	
	1 Etapa (20 años)	2 Etapa (10 años cada una)
30%≤ CBR	15cm 24cm	12cm 15cm 15cm 5cm
Rugosidad	Rugosidad Tp12_CBR 30% IRI (0.00–4.00) vs Años (0–20) Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp12_CBR 30% IRI (0.00–4.00) vs Años (0–20) Rugosidad Adm.
Deflexión	Deflexion Tp12_CBR 30% mm (0.000–0.600) vs Años (0–20) Deflexión Adm.	Deflexion Tp12_CBR 30% mm (0.000–0.600) vs Años (0–20) Deflexión Adm.
Ahuellamiento	Ahuellamiento Tp12_CBR 30% Profundidad (mm) (0.0–3.5) vs Años (0–20)	Ahuellamiento Tp12_CBR 30% Profundidad (mm) (0.0–3.0) vs Años (0–20)





Figura 16.3h
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles (periodo de 10 y 20 años)



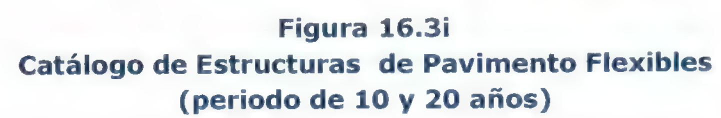


Figura 16.3i
Catálogo de Estructuras de Pavimento Flexibles
(periodo de 10 y 20 años)

	Tp14	
	25'000,01 – 30'000,00	
	1 Etapa (20 años)	2 Etapa (10 años cada una)
10%≤ CBR <20%	17cm 30cm 21cm	13cm 35cm 20cm 6cm
Rugosidad	Rugosidad Tp14_CBR 10% IRI: 0.00 – 4.00 Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp14_CBR 10% IRI: 0.00 – 4.00 Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.
Deflexión	Deflexion Tp14_CBR 10% mm: 0.000 – 0.500 Años: 0 – 20 Deflexión Adm.	Deflexion Tp14_CBR 10% mm: 0.000 – 0.500 Años: 0 – 20 Deflexión Adm.
Ahuellamiento	Ahuellamiento Tp14_CBR 10% Profundidad (mm): 0.0 – 3.5 Años: 0 – 20	Ahuellamiento Tp14_CBR 10% Profundidad (mm): 0.0 – 3.5 Años: 0 – 20

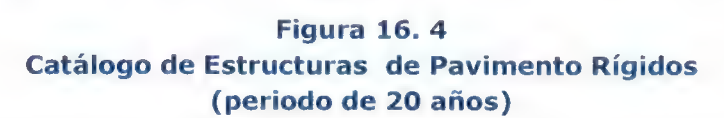


Figura 16. 4
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos (periodo de 20 años)

	Tp5	
	1'000,001 - 1'500,000	
	Con pasadores y con bermas de Concreto Factor = 2.8	Con pasadores y con berma Granular o Asfáltica Factor = 3.2
6% ≤ CBR < 10%	17 cm 15 cm	19 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp5_CBR 6-10%_J = 2.8	Rugosidad Tp5_CBR 6-10%_J = 3.2
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp5_CBR 6-10%_J = 2.8	Desgaste de Juntas Tp5_CBR 6-10%_J = 3.2
Escalonamiento en Juntas	Escalonamiento en Juntas Tp5_CBR 6-10%_J = 2.8	Escalonamiento en Juntas Tp5_CBR 6-10%_J = 3.2

Figura 16.4a
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos
(periodo de 20 años)

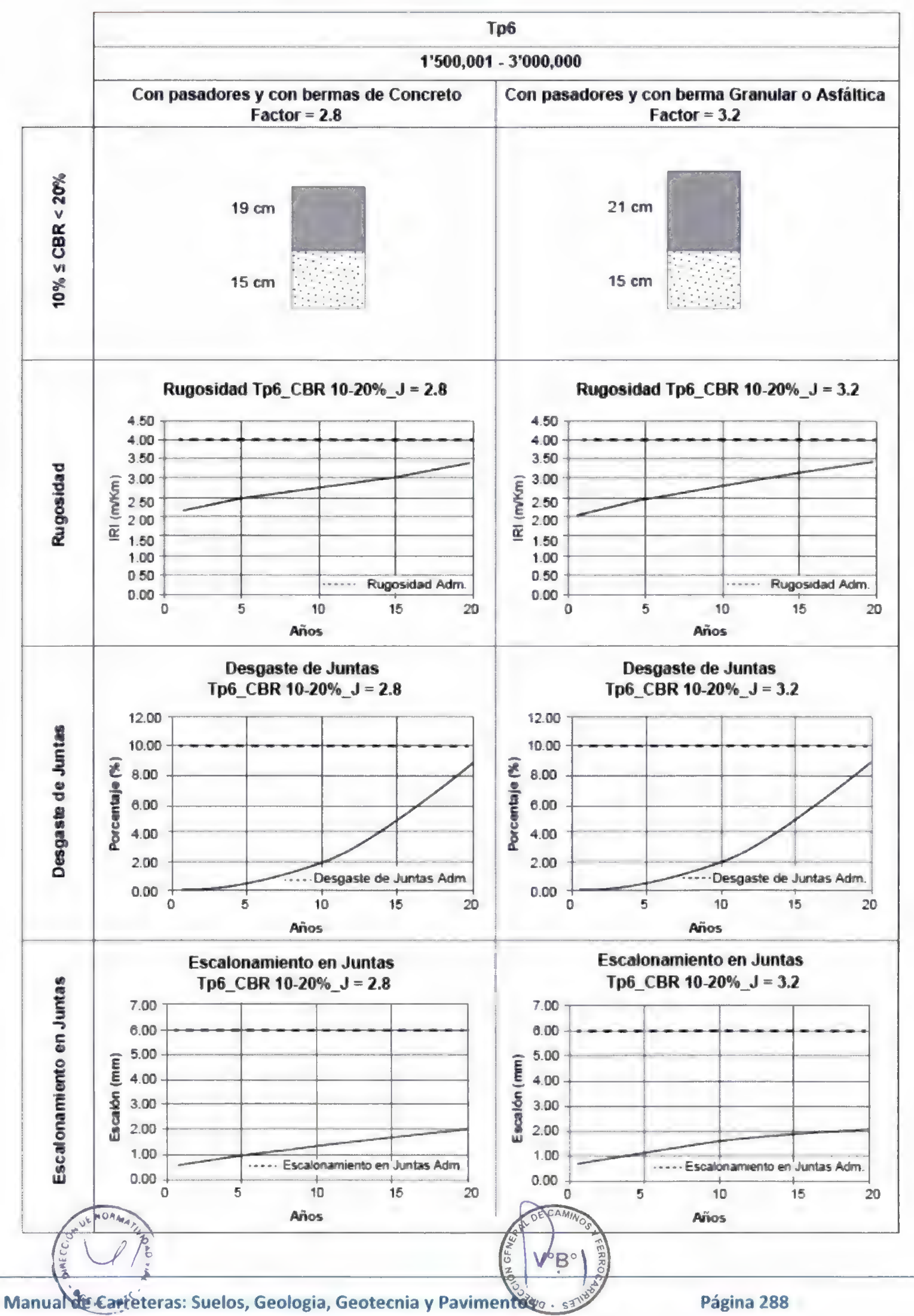


Figura 16.4b
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos
(periodo de 20 años)

	Tp7	
	3'000,001 - 5'000,000	
	Con pasadores y con bermas de Concreto Factor = 2.8	Con pasadores y con berma Granular o Asfáltica Factor = 3.2
20% ≤ CBR < 30%	21 cm 15 cm	23 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp7_CBR 20-30%_J = 2.8 IRI (m/Km) 0.00–4.50; Años 0–20 ···· Rugosidad Adm	Rugosidad Tp7_CBR 20-30%_J = 3.2 IRI (m/Km) 0.00–4.50; Años 0–20 ···· Rugosidad Adm.
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp7_CBR 20-30%_J = 2.8 Porcentaje (%) 0.00–12.00; Años 0–20 ···· Desgaste de Juntas Adm	Desgaste de Juntas Tp7_CBR 20-30%_J = 3.2 Porcentaje (%) 0.00–12.00; Años 0–20 ···· Desgaste de Juntas Adm.
Escalonamiento en Juntas	Escalonamiento en juntas Tp7_CBR %_J = 2.8 Escalón (mm) 0.00–7.00; Años 0–20 ···· Escalonamiento en Juntas Adm	Escalonamiento en Juntas Tp7_CBR 20-30%_J = 3.2 Escalón (mm) 0.0–7.00; Años 0–20 ···· Escalonamiento en Juntas Adm





Figura 16.4c
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos (periodo de 20 años)

	Tp8	
	5'000,001 - 7'500,000	
	Con pasadores y con bermas de Concreto Factor =2.8	Con pasadores y con berma Granular o Asfáltica Factor = 3.2
30% ≤ CBR	22 cm 15 cm	24 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp8_CBR 30%_J = 2.8 IRI (m/Km): 0.00 – 4.50 Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp8_CBR 30%_J = 3.2 IRI (m/Km): 0.00 – 4.50 Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp8_CBR 30%_J = 2.8 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00 Años: 0 – 20 Desgaste de Juntas Adm.	Desgaste de Juntas Tp8_CBR 30%_J = 3.2 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00 Años: 0 – 20 Desgaste de Juntas Adm.
Escalonamiento en juntas	Escalonamiento en Juntas Tp8_CBR 30%_J = 2.8 Escalón (mm): 0.0 – 7.00 Años: 0 – 20 Escalonamiento en Juntas Adm.	Escabramiento en juntas Tp8_CBR 30%_J = 3.2 Escalón (mm): 0.0 – 7.00 Años: 0 – 20 Escalonamiento en Juntas Adm.





Figura 16.4d
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos (periodo de 20 años)

	Tp9	
	7'500,001 - 10'000,000	
	Con pasadores y con bermas de Concreto Factor = 2.8	Con pasadores y con berma Granular o Asfáltica Factor = 3.2
6% ≤ CBR <10%	24 cm 15 cm	26 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp9_CBR 6-10%_J = 2.8 IRI (m/Km) – Años Rugosidad Adm	Rugosidad Tp9_CBR 6-10%_J = 3.2 IRI (m/Km) – Años Rugosidad Adm
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp9_CBR 6-10%_J = 2.8 Porcentaje (%) – Años Desgaste de Juntas Adm.	Desgaste de Juntas Tp9_CBR 6-10%_J = 3.2 Porcentaje (%) – Años Desgaste de Juntas Adm.
Escalonamiento en Juntas	Escalonamiento en Juntas Tp9_CBR 6-10%_J = 2.8 Escalón (mm) – Años Escalonamiento en Juntas Adm.	Escalonamiento en Juntas Tp9_CBR 6-10%_J = 3.2 Escalón (mm) – Años Escalonamiento en Juntas Adm.

Figura 16.4e
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos
(periodo de 20 años)

	Tp10	
	10'000,001 - 12'500,000	
	Con pasadores y con bermas de concreto Factor = 2.8	Con pasadores y con berma granular o Asfáltica Factor = 3.2
10% ≤ CBR<20%	26 cm 15 cm	27 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp10_CBR 10-20%_J = 2.8 IRI (m/km): 0.00 – 4.50; Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp10_CBR 10-20%_J = 3.2 IRI (m/km): 0.00 – 4.50; Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp10_CBR 10-20%_J = 2.8 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00; Años: 0 – 20 Desgaste de Juntas Adm.	Desgaste de Juntas Tp10_CBR 10-20%_J = 3.2 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00; Años: 0 – 20 Desgaste de Juntas Adm.
Escalonamiento en Juntas	Escalonamiento en Juntas Tp10_CBR 10-20%_J = 2.8 Escalón (mm): 0.00 – 7.00; Años: 0 – 20 Escalonamiento en Juntas Adm.	Escalonamiento en Juntas Tp10_CBR 10-20%_J = 2.8 Escalón (mm): 0.00 – 7.00; Años: 0 – 20 Escalonamiento en Juntas Adm.

Figura 16.4f
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos (periodo de 20 años)

	Tp11	
	12'500,001 - 15'000,000	
	Con pasadores y con bermas de concreto Factor = 2.8	Con pasadores y con berma granular o Asfáltica Factor = 3.2
20% ≤ CBR<30%	26 cm 15 cm	28 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp11_CBR 20-30%_J = 2.8 IRI (m/km); Años; Rugosidad Adm	Rugosidad Tp11_CBR 20-30%_J = 3.2 IRI (m/km); Años; Rugosidad Adm.
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp11_CBR 20-30%_J = 2.8 Porcentaje (%); Años; Desgaste de Juntas Adm	Desgaste de Juntas Tp11_CBR 20-30%_J = 3.2 Porcentaje (%); Años; Desgaste de Juntas Adm.
Escalonamiento en Juntas	Escalonamiento en Juntas Tp11_CBR 20-30%_J = 2.8 Escalón (mm); Años; Escalonamiento en Juntas Adm	Escalonamiento en Juntas Tp11_CBR 20-30%_J = 3.2 Escalón (mm); Años; Escalonamiento en Juntas Adm

Figura 16.4g
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos
(periodo de 20 años)

	Tp12	
	15'000,001 - 20'000,000	
	Con pasadores y con bermas de Concreto Factor = 2.8	Con pasadores y con berma Granular o Asfáltica Factor = 3.2
30% ≤ CBR	26 cm 15 cm	28 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp12_CBR 30%_J = 2.8 IRI (m/Km): 0.00 – 4.50 Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.	Rugosidad Tp12_CBR 30%_J = 3.2 IRI (m/Km): 0.00 – 4.50 Años: 0 – 20 Rugosidad Adm.
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp12_CBR 30%_J = 2.8 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00 Años: 0 – 20 Desgaste de Juntas Adm.	Desgaste de Juntas Tp12_CBR 30%_J = 3.2 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00 Años: 0 – 20 Desgaste de Juntas Adm
Escalonamiento en Juntas	Escalonamiento en Juntas Tp12_CBR >30%_J = 2.8 Escalón (mm): 0.00 – 7.00 Años: 0 – 20 Escalonamiento en Juntas Adm.	Escalonamiento en Juntas Tp12_CBR 30%_J = 3.2 Escalón (mm): 0.00 – 7.00 Años: 0 – 20 Escalonamiento en Juntas Adm.





Figura 16.4h
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos (periodo de 20 años)

	Tp13	
	20'000,001 - 25'000,000	
	Con pasadores y con bermas de Concreto Factor = 2.8	Con pasadores y con berma Granular o Asfáltica Factor = 3.2
6% ≤ CBR <10%	29 cm 15 cm	31 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp13_CBR 6-10%_J = 2.8 IRI (m/Km): 0.00 – 4.50 Años: 0 – 20 --- Rugosidad Adm	Rugosidad Tp13_CBR 6-10%_J = 3.2 IRI (m/Km): 0.00 – 4.50 Años: 0 – 20 --- Rugosidad Adm
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp13_CBR 6-10%_J=2.8 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00 Años: 0 – 20 --- Desgaste de Juntas Adm	Desgaste de Juntas Tp13_CBR 6-10%_J = 3.2 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00 Años: 0 – 20 --- Desgaste de Juntas Adm
Escalonamiento en Juntas	Escalonamiento en Juntas Tp13_CBR 6-10%_J = 2.8 Escalón (mm): 0.00 – 7.00 Años: 0 – 20 --- Escalonamiento en Juntas Adm	Escalonamiento en Juntas Tp13_CBR 6-10%_J = 3.2 Escalón (mm): 0.00 – 7.00 Años: 0 – 20 --- Escalonamiento en Juntas Adm





Figura 16.4i
Catálogo de Estructuras de Pavimento Rígidos
(periodo de 20 años)

	Tp14	
	25'000,001 - 30'000,000	
	Con pasadores y con bermas de concreto Factor = 2.8	Con pasadores y con berma granular o Asfáltica Factor = 3.2
10% ≤ CBR<20%	30 cm 15 cm	32 cm 15 cm
Rugosidad	Rugosidad Tp14_CBR 10-20%_J = 2.8 IRI (m/km): 0.00 – 4.00 Años: 0 – 20 Rugosidad Adm	Rugosidad Tp14_CBR 10-20%_J = 3.2 IRI (m/km): 0.00 – 4.00 Años: 0 – 20 Rugosidad Adm
Desgaste de Juntas	Desgaste de Juntas Tp14_CBR 10-20%_J = 2.8 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00 Años: 0 – 20 Desgaste de Juntas Adm	Desgaste de Juntas Tp14_CBR 10-20%_J = 3.2 Porcentaje (%): 0.00 – 12.00 Años: 0 – 20 Desgaste de Juntas Adm.
Escalonamiento en Juntas	Escalonamiento en Juntas Tp14_CBR 10-20%_J = 2.8 Escalón (mm): 0.00 – 7.00 Años: 0 – 20 Escalonamiento en Juntas Adm	Escabramiento en Juntas Tp14_CBR 10-20%_J = 3.2 Escalón (mm): 0.00 – 7.00 Años: 0 – 20 Escalonamiento en Juntas Adm.

CAPÍTULO XVII

ABREVIATURAS Y GLOSARIO DE NUEVOS TÉRMINOS





ABREVIATURAS Y GLOSARIO DE TÉRMINOS

17.1 ABREVIATURAS

A continuación, se incluye las abreviaturas usadas en el presente Manual:

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

ACI: American Concrete Institute o Instituto Americano del Concreto.

AENOR: Asociación Española de Normalización.

AFNOR: Association Française de Normalization o Asociación Francesa de Normalización.

AI: The Asphalt Institute o Instituto del Asfalto.

ANSI: American National Standards Institute o Instituto Nacional de Normalización Estadounidense.

API: American Petroleum Institute o Instituto Americano del Petróleo.

ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

AWS: American Welding Society o Asociación de Soldadura Americana.

BS: British Standards o Normas Británicas.

CEN: Comité Europeo de Normalización.

DG ( ): Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

ECV: Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación

EE: Especificaciones Especiales para Construcción de Carreteras de un Proyecto específico.

EEC: Especificaciones Especiales para la Conservación Vial de tramo específico.

EG ( ): Manual de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras del Perú. Entre paréntesis se colocará el año de actualización.

EM ( ): Manual de Ensayo de Materiales para la Construcción de Carreteras. Manual de Dispositivos de control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

FHWA: Federal Highway Administration o Administración Federal de Carreteras.

INC: Instituto Nacional de Cultura del Perú.

INRENA:	Instituto Nacional de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura del Perú.
ISSA:	International Slurry Surfacing Association o Asociación Internacional de Superficies con lechadas asfálticas.
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
NTL:	Normas Técnicas de Laboratorio (España).
NTP:	Norma Técnica Peruana
PCA:	Portland Cement Association o Asociación del Cemento Portland.
SI:	Sistema Internacional de Unidades (Sistema Métrico Modernizado).
SLUMP:	Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (el SI en el Perú).
UNE:	Norma Técnica Española (AENOR)
UNE-EN:	Norma Técnica Española originada por la trasposición de una norma europea (AENOR)





17.2 GLOSARIO DE TERMINOS

La definición de los términos usados en el presente Manual, corresponden al "Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial", vigente; asimismo, a continuación, se incluyen las definiciones de los términos no contenidos en el referido Glosario y que son de uso exclusivo del presente documento:

(1) AGUA
Líquido inodoro, incoloro e insípido, ampliamente distribuido en la naturaleza. Representa alrededor del 70% de la superficie de la Tierra.

(2) AIRE
Capa delgada de gases que cubre La Tierra y está conformado por nitrógeno, oxígeno y otros gases como el bióxido de carbono, vapor de agua y gases inertes.

(3) AMBIENTE
Es el conjunto de fenómenos o elementos naturales y sociales que rodean a un organismo, a los cuales este responde de una manera determinada. Estas condiciones naturales pueden ser otros organismos (ambiente biótico) o elementos no vivos (clima, suelo, agua).

(4) BASES TRATADAS
Son bases granulares a las cuales se les ha adicionado asfalto, cal o cemento, para darles mayor aporte estructural y disminuir el espesor de la estructura del pavimento.

(5) ATMÓSFERA
Es la envoltura gaseosa del planeta Tierra. Está conformada por un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y otros elementos como el argón, dióxido de carbono, trazos de gases nobles como neón, helio, kriptón, xenón, además de cantidades aún menores de hidrógeno libre, metano, y óxido nitroso.

(6) EDUCACIÓN AMBIENTAL
Acción y efecto de formar e informar a colectividades sobre todo lo relacionado con la definición, conservación y restauración de los distintos elementos que componen el medio ambiente.

(7) EXPLANADA (DEL CAMINO)
Se denominará explanada a la preparación y conformación del terreno natural: allanado, nivelado y compactado sobre el que se construirá la infraestructura del camino. En territorios con fuertes pendientes transversales, la explanada se construye formando terrazas. Cuando el terreno natural de la explanada es de mala calidad, éste debe ser reemplazado o estabilizado para que la explanada sea estable.

(8) EXTINCIÓN
Proceso que afecta a muchas especies animales y vegetales, amenazando su supervivencia, principalmente a causa de la acción del hombre, que ha ido transformando y reduciendo su medio natural.

(9) GESTIÓN AMBIENTAL

Es el conjunto de las actividades humanas que tiene por objeto el ordenamiento del ambiente y sus componentes principales, como son: la política, el derecho y la administración ambiental.

(10) MEDIO AMBIENTE

Es el conjunto de factores físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la sociedad en que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia.

(11) POBLACIÓN

Conjunto de individuos perteneciente a una misma especie, que coexisten en un área en la que se dan condiciones que satisfacen sus necesidades de vida.

(12) RECICLAJE

Consiste en convertir materiales ya utilizados en materias primas para fabricar nuevos productos.

(13) RECURSOS NATURALES

Son aquellos bienes existentes en la Tierra y que la humanidad aprovecha para su subsistencia, agregándoles un valor económico. Tales recursos son: El aire, la energía, los minerales, los ríos, la flora, la fauna, etc. que no se agotan, tales como el aire, el viento, el agua del mar. Se reproducen solos o con la ayuda del hombre.

(14) RELLENO SANITARIO

También se denomina vertedero. Centro de disposición final de los residuos que genera una zona urbana determinada y que reúne todos los requisitos sanitarios necesarios. Allí se controlan y se recuperan los gases y otras sustancias generados por los residuos y se aplican técnicas adecuadas de impermeabilización y monitoreo.

(15) SANEAMIENTO BÁSICO

Es la ejecución de obras de acueductos urbanos y rurales, alcantarillados, tratamiento de aguas, manejo y disposición de desechos líquidos y sólidos, así como la generación de energía alternativa.

(16) SUELOS ESTABILIZADOS

Son suelos pobres o inadecuados de baja estabilidad a los cuales es necesario adicionales un estabilizador como cal, cemento o un aditivo químico o iónico.

